

**IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE**

In re Patent Application of:

Tsuyoshi YAMAMOTO, et al.

Application No.:

Group Art Unit:

Filed: March 30, 2004

Examiner:

For: WAVELENGTH SELECTOR SWITCH

**SUBMISSION OF CERTIFIED COPY OF PRIOR FOREIGN  
APPLICATION IN ACCORDANCE  
WITH THE REQUIREMENTS OF 37 C.F.R. § 1.55**

Commissioner for Patents  
PO Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

In accordance with the provisions of 37 C.F.R. § 1.55, the applicant(s) submit(s) herewith a certified copy of the following foreign application:

Japanese Patent Application No(s). 2003-097402 and 2003-301725

Filed: March 31, 2003 and August 26, 2003

It is respectfully requested that the applicant(s) be given the benefit of the foreign filing date(s) as evidenced by the certified papers attached hereto, in accordance with the requirements of 35 U.S.C. § 119.

Respectfully submitted,

STAAS & HALSEY LLP

Date: March 30, 2004

By: 

H. J. Staas  
Registration No. 22,010

1201 New York Ave, N.W., Suite 700  
Washington, D.C. 20005  
Telephone: (202) 434-1500  
Facsimile: (202) 434-1501

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日            2 0 0 3 年   3 月 3 1 日  
Date of Application:

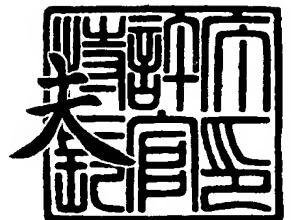
出 願 番 号            特 願 2 0 0 3 - 0 9 7 4 0 2  
Application Number:  
[ST. 10/C] :            [ J P 2 0 0 3 - 0 9 7 4 0 2 ]

出   願   人            富 士 通 株 式 会 社  
Applicant(s):

2 0 0 3 年 1 2 月   9 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今 井 康





【書類名】 特許願

【整理番号】 0253375

【提出日】 平成15年 3月31日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H04J 14/02

【発明の名称】 波長選択スイッチ

【請求項の数】 5

【発明者】

    【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 富士通株式会社内

    【氏名】 山本 毅

【発明者】

    【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 富士通株式会社内

    【氏名】 谷口 眞司

【特許出願人】

    【識別番号】 000005223

    【氏名又は名称】 富士通株式会社

【代理人】

    【識別番号】 100104190

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 酒井 昭徳

【手数料の表示】

    【予納台帳番号】 041759

    【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

    【物件名】 明細書 1

    【物件名】 図面 1

    【物件名】 要約書 1



【包括委任状番号】 9906241

【プルーフの要否】 要



【書類名】 明細書

【発明の名称】 波長選択スイッチ

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 波長多重された光が複数入力され、複数の入力された光をそれぞれ波長別に選択して複数出力する波長選択スイッチにおいて、

前記波長多重された光が複数入力される複数の光入力ポートと、

前記波長別に選択された光を複数出力する複数の光出力ポートと、

光の偏光方向に応じて前記光を異なる屈折角度で屈折し分離させるものであり、前記複数の光入力ポート側に入射された光を、内部側の単一の出射位置から出射させる第 1 の光屈折板と、

前記第 1 の光屈折板から出射された光を受光し、該光に含まれる波長別の光の成分を異なる方向に分離して出射させる第 1 の合分波器と、

前記第 1 の合分波器から出射される光を前記波長別に所定間隔を有する平行光にする第 1 の光学系と、

前記第 1 の光学系により平行光とされた前記光の偏光方向を波長別に選択的に制御自在な透過型の偏光制御手段と、

前記偏光制御手段から出射された前記波長別の平行光を集光する第 2 の光学系と、

前記第 2 の光学系で集光された前記波長別に分離された光を受光し、該光を合波して出射させる第 2 の合分波器と、

前記第 2 の合分波器から出射された合波後の光が単一の入射位置から入射され、該入射された光の偏光方向に応じて該光を異なる屈折角度で屈折させ、前記複数の光出力ポートに出射させる第 1 の光屈折板と、

を備えたことを特徴とする波長選択スイッチ。

【請求項 2】 波長多重された光が複数入力され、複数入力された光をそれぞれ波長別に選択して複数出力する波長選択スイッチにおいて、

前記波長多重された光が複数入出力される複数の光入出力ポートと、

光の偏光方向に応じて前記光を異なる屈折角度で屈折し分離させるものであり、前記複数の光入出力ポート側の複数の入出射位置と、内部側の単一の出射位置

を有する光屈折板と、

前記光屈折板側から出射された光を受光し、該光に含まれる波長別の光の成分を異なる方向に分離して出射させ、また、該出射方向から入射される光を合波して前記光屈折板に出射させる合分波器と、

前記合分波器から出射された光を前記波長別に所定間隔を有する平行光にする光学系と、

前記光学系により平行光とされた前記光の偏光方向を波長別に選択的に制御自在であり、入射した光を反射させる反射型の偏光制御手段と、

を備えたことを特徴とする波長選択スイッチ。

【請求項 3】 波長多重された光が複数入力され、複数の入力された光をそれぞれ波長別を選択して複数出力する波長選択スイッチにおいて、

前記波長多重された光が複数入力される複数の光入力ポートと、

前記波長別を選択された光を複数出力する複数の光出力ポートと、

光の偏光方向に応じて該光を異なる屈折角度で屈折し分離させるものであり、前記複数の光入力ポート側の複数の入射位置と、内部側の単一の出射位置とを、前記複数の光入力ポートと、前記複数の光出力ポートそれぞれに対応して有する光屈折板と、

前記光屈折板側から出射された光を受光し、該光に含まれる波長別の光の成分を異なる方向に分離して出射させ、また、該出射方向から入射される光を合波して前記光屈折板に出射させる合分波器と、

前記合分波器から出射された光を前記波長別に所定間隔を有する平行光にする光学系と、

前記光学系により平行光とされた前記光の偏光方向を波長別を選択的に制御自在であり、入射した光を反射させる反射型の偏光制御手段と、

を備えたことを特徴とする波長選択スイッチ。

【請求項 4】 前記光屈折板と、前記合分波器との間には、

前記光屈折板により分離された光が入射され、該光屈折板により分離された一方の光の偏光方向と、他方の光の偏光方向とを一致させて出射する波長板と、

前記波長板から出射された光の光路を、該光の偏光方向に応じて分離、あるいは

は結合させる光路切り換え用の光屈折板と、

を備えたことを特徴とする請求項 2 または 3 に記載の波長選択スイッチ。

【請求項 5】 前記光屈折板による光の屈折方向に対し、前記光路切り換え用の光屈折板による光の屈折方向が垂直なことを特徴とする請求項 4 に記載の波長選択スイッチ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

この発明は、波長多重されて入力された光を波長別を選択して所望するポートに出力する波長選択スイッチに関し、特に全光クロスコネクタが可能な波長選択スイッチに関する。

【0002】

【従来の技術】

インターネットの普及等により激増するトラフィックを収容し、既存の光ファイバ網を有効に活用するために、波長分割多重通信 (Wavelength-Division Multiplexing: WDM) 通信によるネットワークの光化が急速に進んでいる。現在の WDM 通信は、主にポイントツーポイント (point-to-point) のネットワーク形態であるが、リング型ネットワーク、メッシュ状ネットワークへの進展が研究されている。これら将来のネットワークを構成する各ノードでは、任意波長の分岐／挿入を行う光分岐挿入装置 (Optical Add Drop Multiplexer: OADM)、電気への変換を介さない全光クロスコネクタ装置 (Optical cross Connect: OXC) 等によって光領域での信号処理が可能となり、波長情報を基にしたダイナミックなパスの設定／解除が行われる予定である。このような光技術を最大限に生かしたフォトニックネットワーク技術の進展に関する文献としては、例えば、下記の非特許文献 1 がある。

【0003】

上記の OADM や、OXC は、内部に波長選択スイッチを有している。図 16 は、波長選択スイッチの概要構成を示す図である。図 16 に示すような 2 系統の

光伝送路は、例えば、一方（第1光伝送路）111aが光ファイバ伝送線路の幹線として運用され、他方（第2光伝送路）111bが支線として運用される。

#### 【0004】

第1光伝送路111aと第2光伝送路111bとの間には、これら第1光伝送路111aと第2光伝送路111bのノード同士をつなぐ形で波長選択スイッチ110が配置される。波長選択スイッチ110は、2個の光入力ポートIn, Addと、2個の光出力ポートPass, Dropを有する。厳密には光入力ポートIn, 挿入ポートAdd, 通過光出力ポートPass, 分岐光出力ポートDropとそれぞれ呼称されている。

#### 【0005】

これら光入力ポートIn, Addポートを介して入力される光は、複数の波長成分からなるWDM信号であり、典型的な波長間隔は100GHz（0.8nm）、波長の数は数波～数十波（例えば32波；この場合、上述した $\lambda_n$ において、 $n=32$ ）である。第1光伝送路111aのノードにはサーキュレータ112aが挿入され、第2光伝送路111bのノードにはサーキュレータ112bが挿入される。これらサーキュレータ112a, 112bは、光入力ポートC1へ入力された光を入光出力ポートC2から出力し、入光出力ポートC2へ入力された光を光出力ポートC3から出力する機能を有している。

#### 【0006】

2個のサーキュレータ112a, 112bそれぞれの入光出力ポートC2, C2の間には、光スイッチモジュール114が配置される。光スイッチモジュール114は、コリメータレンズや集光レンズ等からなる光学系117（詳細は不図示）と、回折格子（Grating）118と、MEMS（Micro Electro Mechanical Systems）によるマイクロミラーアレイ121を備えて構成されている（例えば、特許文献1参照。）。

#### 【0007】

上記構成によれば、サーキュレータ112aの入光出力ポートC2から出射された光は、光学系117を介して回折格子118の格子面に入射される。回折格子118は、所定の角度で入射された異なる波長成分に対し、異なる回折角を与



える素子である。したがって、回折格子 118 により反射された WDM 信号は、波長  $\lambda$  の成分毎に空間的に分離して、マイクロミラーアレイ 121 に集光される。

#### 【0008】

マイクロミラーアレイ 121 に集光された各波長  $\lambda_1 \sim \lambda_n$  の光は、このマイクロミラーアレイ 121 に設けられた各波長別のマイクロミラー 122 を角度変更制御することにより、入射光に対して出射光の光路を同一の光路に戻すか、あるいは互いに他方の光路に切り換えて反射させることができる。

#### 【0009】

このマイクロミラーアレイ 121 は、マイクロマシン技術を用いて作成されたミラーである。マイクロマシン技術に関しては下記の非特許文献 2 等に記載されている。図示のマイクロミラー 122 は、数十  $\mu\text{m}$  間隔で複数のマイクロミラー 122a  $\sim$  122n を並べて構成したものである。マイクロミラー 122 の個数  $n$  は、波長  $\lambda$  の分離数  $n$  に一致しており、1つのマイクロミラー 122 が1つの波長成分に対応している。回折格子 118 による分離された各波長  $\lambda_1 \sim \lambda_n$  の光は、この波長に対応する位置のマイクロミラー 122 (122a  $\sim$  122n) に入射される。

#### 【0010】

図 17 は、マイクロミラーアレイに設けられるマイクロミラーの構成を示す側面図である。図 18 は、マイクロミラーの動作状態を示す図である。マイクロミラー 122 は、基板 123 と、基板 123 上に突出形成された支持部 124 と、支持部 124 に中央が支持された反射体 125 とを有して構成されている。反射体 125 は、表面 125a が光 A, B を全反射する鏡面となっている。基板 123 上には支持部 124 を挟んで反射体 125 に対向する平板状の一对の電極 126a, 126b が設けられ、反射体 125 の裏面全面には電極 126a, 126b に対向する平板状の対向電極 127 が設けられている。

#### 【0011】

一方の電極 126a に電圧を印加すると、電極 126a と対向する対向電極 127 との間に静電気力が発生する。これにより、対向電極 127 が一方の電極 1

26a側に引き寄せられ、反射体125は、支持部124を中心として一方に傾き、図17に示す状態となる。

#### 【0012】

この状態では、反射体125に入射された光Aを同方向に反射させる。具体的には、入射する光Aの方向に対して反射体125の表面125aが直交する角度（直角）となるよう調整しておく。これにより、例えば、光入力ポートInから入力された光を同じ光の光路上に戻し、光出力ポートPassから出力することができる。

#### 【0013】

一方、他方の電極126bに電圧を印加すると、電極126bと対向する対向電極127との間に静電気力が発生する。これにより、対向電極127が一方の電極126b側に引き寄せられ、反射体125は、支持部124を中心として他方に傾き、図18に示す状態となる。

#### 【0014】

この状態では、反射体125に入射された光A、Bをそれぞれ他の光路上に反射させる。具体的には、入射する光A、Bの方向に対して反射体125の面がいずれも所定角度（ $\theta$ ）となるよう調整しておく。これにより、光入力ポートInから入力された光Aを他の光Bの光路上に切り換えて光出力ポートDropから出力させることができる。同様に、光入力ポートAddから入力された光Bを他の光Aの光路上に切り換えて光出力ポートPassから出力させることができる。

#### 【0015】

このように、上述した光入力ポートIn、Addに入力された光を波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ 別を選択して光出力ポートPass、Dropから切り換えて出力できる。例えば、図16に示すように、第1光伝送路111aのInの光が波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ であり、第2光伝送路111bのAddの光が波長 $\lambda_a$ 、 $\lambda_b$ 、 $\lambda_c$ であるとする（波長 $\lambda_1 = \lambda_a$ 、 $\lambda_2 = \lambda_b$ 、 $\lambda_3 = \lambda_c$ ）。そして、マイクロミラー122の角度変更により、ある波長を選択して他の光路に切り換えることができ、第1光伝送路111aのPassから波長 $\lambda_a$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_c$ を出力し、第

2 光伝送路 1 1 1 b の D r o p から波長  $\lambda 1$ ,  $\lambda b$ ,  $\lambda 3$  の光を出力することができるようになる。

【0016】

このようにマイクロミラーアレイ 1 2 1 を用いることにより、マイクロミラーアレイ 1 2 1 に入射される波長  $\lambda 1 \sim \lambda n$  の光 A, B の反射方向を各波長成分毎に切り換えることができる。これにより、第 1 光伝送路（幹線）1 1 1 a のバックアップ回線として第 2 光伝送路（支線）1 1 1 b を用いたり、一方の光伝送路で伝送障害が生じた特定の波長  $\lambda$  のみ他方の光伝送路に振り替えて伝送する等の運用が行えるようになる。

【0017】

【特許文献 1】

米国特許第 6 2 0 4 9 4 6 号明細書

【非特許文献 1】

電子情報通信学会誌、2002 年 2 月号、p. 94-103

【非特許文献 2】

「マイクロメカニカル光デバイス」、応用物理学会誌、2000 年第 69 巻第 11 号、p 1274-1284

【0018】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上述したマイクロミラーアレイを用いた波長選択スイッチ 1 1 0 では、第 1 に全光クロスコネクタを達成することができなかった。マイクロミラーアレイ 1 2 1 に用いるマイクロミラー 1 2 2 は、図 18 に示す角度変更時には、2 光入力ポート (I n, A d d) と、2 光出力ポート (P a s s, D r o p) の光を互いに交換させることができるが、図 17 に示す状態では、一方（第 1 光伝送路 1 1 1 a）の光入力ポート I n から入射された光を光出力ポート P a s s に光を戻すことしかできない。

【0019】

すなわち、図 17 に示す状態においては、他方（第 2 光伝送路 1 1 1 b）の光入力ポート A d d に対する全ての光路切り換え動作を実行することができない。

この状態で光入力ポート A d d から光を入射させても、マイクロミラー 122 は、入射された光をどのポートに対しても反射させることができない角度に傾いているためである。このように、従来の波長選択スイッチ 110 は、マイクロミラーアレイ 121 の構造上、2 光入力ポートの光を常時 2 光出力ポートのいずれかに切り換えるという全光クロスコネクタを達成することができなかった。なお、現在の全光クロスコネクタとは、ポート数が  $2 \times 2$  (2 入力 2 出力) の構成において各波長毎に任意のポートに光を切り換え可能なことを指している。

#### 【0020】

また、マイクロミラーアレイ 121 は、マイクロミラー 122 の角度を変更させた状態を保持するために、電極 126 a あるいは電極 126 b に対する電圧印加を継続させなければならない。電圧印加が解除されると、直ちにそれまで保持されていた光路切り換えの状態を保持できないおそれがある。このほか、複数設けられる各マイクロミラー 122 と、このマイクロミラー 122 に対する入射光および出射光の光軸合わせにかかる手間や、マイクロ部品であるため部品価格が高くなったり、マイクロミラー 122 自体が角度変更動作する構造上の耐久性の問題等を有している。

#### 【0021】

この発明は、上述した従来技術による問題点を解消するため、簡単な構成で全光クロスコネクタが行える波長選択スイッチを提供することを目的とする。

#### 【0022】

##### 【課題を解決するための手段】

上述した課題を解決し、目的を達成するため、この発明にかかる波長選択スイッチは、波長多重された光が複数入力され、複数入力されたの光をそれぞれ波長別を選択して複数出力する波長選択スイッチにおいて、前記波長多重された光が複数入出力される複数の光入出力ポートと、光の偏光方向に応じて前記光を異なる屈折角度で屈折し分離させるものであり、前記複数の光入出力ポート側の複数の入出射位置と、内部側の単一の出射位置を有する光屈折板と、前記光屈折板側から出射された光を受光し、該光に含まれる波長別の光の成分を異なる方向に分離して出射させ、また、該出射方向から入射される光を合波して前記光屈折板に

出射させる合分波器と、前記合分波器から出射された光を前記波長別に所定間隔を有する平行光にする光学系と、前記光学系により平行光とされた前記光の偏光方向を波長別に選択的に制御自在であり、入射した光を透過、あるいは反射させる偏光制御手段と、を備えたことを特徴とする。

#### 【0023】

この発明によれば、波長多重された光は、波長分散素子により波長毎に光が分離され、偏光制御素子によって各波長成分の光毎に偏光方向が制御される。この後、波長分散素子により合波して元の波長多重された光に戻され、光の偏光成分に応じて異なる経路に切り換え出力することができる。

#### 【0024】

##### 【発明の実施の形態】

以下に添付図面を参照して、この発明にかかる波長選択スイッチの好適な実施の形態を詳細に説明する。本発明の波長選択スイッチは、マイクロミラーアレイを用いず、偏光制御による光路切り換えによって全光クロスコネクトを実現する。以下、この発明の各実施形態について詳細に説明する。以下に説明する各実施の形態では、波長選択スイッチを構成する偏光制御素子に磁気光学素子を用い、波長分散素子に回折格子を適用した例を用いて説明する。

#### 【0025】

##### （実施の形態1）

はじめに、この発明の波長選択スイッチの実施の形態1について説明する。図1は、この発明の実施の形態1による透過型の波長選択スイッチの構成を示す斜視図である。また、図2は、この発明の実施の形態1による波長選択スイッチの上面図であり、図3は、この発明の実施の形態1による波長選択スイッチの側面図である。

#### 【0026】

この波長選択スイッチ1は、2入力×2出力のポートとして、図示しない光コネクタと、一対のファイバコリメータ2a、2bを有している。ファイバコリメータ2a、2bは、光ファイバ3（3a～3d）を上下位置にそれぞれ配置し、また、各光ファイバ3の端面位置を揃えた状態で固定保持する。

**【 0 0 2 7 】**

入力側のファイバコリメータ 2 a には、上部位置に第 1 の光ファイバ 3 a が固定され、下部位置に第 2 の光ファイバ 3 b が固定される。出力側のファイバコリメータ 2 b には、上部位置に第 3 の光ファイバ 3 c が固定され、下部位置に第 4 の光ファイバ 3 d が固定される。第 1 および第 3 の光ファイバ 3 a, 3 c は、上述した第 1 光伝送路の一部であり、第 2 および第 4 の光ファイバ 3 b, 3 d は、第 2 光伝送路の一部として構成される。この透過型の波長選択スイッチ 1 は、これら光伝送路の一部に介在して光を通過させる形で配置されることになる。入力側である第 1, 第 2 の光ファイバ 3 a, 3 b を介して入力される光は、複数の波長成分からなる WDM 信号であり、典型的な波長間隔は 1 0 0 G H z ( 0 . 8 n m )、波長の数は数波～数十波（例えば 3 2 波；この場合、上述した  $\lambda 1 \sim \lambda n$  において、 $n = 3 2$ ）である。

**【 0 0 2 8 】**

入力側のファイバコリメータ 2 a の上下位置に固定された光ファイバ 3 a, 3 b の端面から出射された光 A, B は、コリメータレンズ 4 ( 4 a, 4 b : 図 2 参照) で平行光にされ、入力側の複屈折板 5 ( 5 a ) を介して入力側の波長分散素子 6 a に入射される。複屈折板 5 a は、入射光の偏光方向により透過した光の出射位置を変化させる。

**【 0 0 2 9 】**

この複屈折板 5 は、カルサイト、ルチル等の異方性結晶によって成形され、光学軸と角度をつけて入射した光の偏光成分を分離（常光は直進、異常光はビームシフトして出力）させる。例えば、カルサイトの場合は、結晶内で約  $6^\circ$  の角度をつけて分離できるので、所望なシフト量を得るように伝搬方向の結晶の長さを調整することにより、所望する偏光分離が行えるようになる。そして、上記光 A と光 B の偏光方向は、回転角度が  $90^\circ$  異なる方向であり、図 3 に示すように、入力側の複屈折板 5 a は、光 B の光路を光 A と同一光路上に屈折させるよう位置を変更できる。

**【 0 0 3 0 】**

また、波長分散素子 6 a としては図 1 に記載の回折格子 7 を用いることができ

る。この回折格子 7 を用いることにより、入射された光 A, B に含まれる波長 ( $\lambda_1 \sim \lambda_n$ ) の光の成分を、波長  $\lambda_1 \sim \lambda_n$  別に異なる方向に分離して出射させることができる。この分離方向は、図 1 に示した波長分散素子 6 a から水平な面内で扇状に広がる各方向である。波長分散素子 6 a としては、上記の回折格子 7 に限らず、他には、VIPA (Virtually Imaged Phase Array) を用いることもできる。次に、この VIPA について簡単に説明しておく。

### 【0031】

図 4 は、波長分散素子として用いられる VIPA の一部側断面図である。図示のように、VIPA 10 は、ガラス等からなるプレート 12 を基材としている。プレート 12 の両面には、それぞれ光反射膜 13, 14 が設けられる。光の入射側 (表面) には、上半部に反射率 100% ( $R=100$ ) の光反射膜 13 が設けられる。下半部は約 0% ( $R=0$ ) の反射率をもつ照射窓 12 a である。光の出射側 (裏面) には、全面に約 95%、またはそれ以上であって 100% よりも小さい反射率をもつ光反射膜 14 が設けられる。

### 【0032】

VIPA 10 に対する光の入射側の前方位置には、シリンドリカル・レンズ 15 が設けられる。シリンドリカル・レンズ 15 は、入射した光 (ビーム) に対し、図 4 に示す上下方向だけを絞り込んで VIPA 10 に入射させる。VIPA 10 は、入射する光に対し角度  $\theta$  を有して傾斜配置され、光反射膜 13 の直下位置に光が入射される。この入射された光は、焦点線 17 に集束される。焦点線 17 は、プレート 12 の光反射膜 14 の面上になる。シリンドリカル・レンズ 15 により集束された光の焦点線 17 のライン状の幅のことを、入力された光の「ビームウェスト」と呼ぶ。

### 【0033】

図 4 に示すように、光反射膜 14 は、入射した光の 95% 程度の光を反射し、残り 5% 程度は光反射膜 14 を透過し外部に出射する。この 95% 程度の反射光は、表面側の光反射膜 13 で全反射され、光反射膜 14 により再び反射光と透過光に分けられる。この際、表面側の光反射膜 13 によって全反射された光は、裏

面側の光反射膜 14 にぶつかるが、距離  $d$  だけずれる。同様にして、一定の距離  $d$  で、光は多くのパスに分かれる。各々のパスのビーム形は、ビームウェストの虚像 17a から光が広がる形となる。虚像 17a は、プレート 12 に対して法線である直線状にそって、一定の間隔  $2t$  で配置される。ここで、 $t$  はプレート 12 の厚さである。虚像 17a でビームウェストの位置は、自己整列し、位置を調節する必要はない。その後、虚像 17a から広がる光は、互いに干渉しあい、入射した光の波長にしたがって変化する方向に伝播する、コリメートされた光 A (B) を形成する。

#### 【0034】

このように多重反射が行われる結果、VIPA 10 全体は、フェーズド・アレイ光源と等価になる。このような、仮想的フェーズド・アレイ光源の光は、干渉しあうことにより、コリメートされた光 A (B) となるが、その出射方向は前述した回折格子のブラッグ角に相当する方向となる。

#### 【0035】

光のパスの距離  $d$  は、 $d = 2t \cdot \sin \theta$  で表すことができる。隣接したビームとの間のパスの長さの差は、 $2t \cdot \cos \theta$  である。角度分散は、これら 2 つの数字の比に比例し、 $\cot \theta$  である。この結果、VIPA 10 は、異なるキャリア (各波長  $\lambda_1 \sim \lambda_n$ ) の光の間で、大きな角度分散を生成することができる。この VIPA 10 は、前述した回折格子 7 と比較して、10～20 倍程度の大きな角度分散を実現している。このように、波長分散素子 6 として VIPA 10 を用いたときには、簡単な構造で大きな角度分散を有する光分散 (分波) を行うことができる。

#### 【0036】

このような、VIPA 10 や回折格子 7 からなる波長分散素子 6 により分光された光 A の出射方向には、光 A を平行にする入力側のレンズ 8a と、光透過型の偏光制御素子 9 が配置される。偏光制御素子 9 には、液晶や磁気光学素子を用いることができる。例えば、光 A の光軸に対して主軸を  $22.5^\circ$  に傾けた、ティルト角  $\pm 22.5^\circ$  の強誘電性液晶を用いる。そして、 $0^\circ$  と  $45^\circ$  の間で主軸の方向を切り換える ON/OFF 制御を行うことにより、短軸方向と長軸方向の



間で生じる位相差を  $\lambda/2$  とすれば、この偏光制御素子 9 を透過する光の偏光方向を  $0^\circ$  あるいは  $90^\circ$  回転させた状態のいずれかに切り換えることができる。この偏光制御素子 9 としては、上記の強誘電性液晶を用いる他に、ファラデー回転子を用いることもできる。ファラデー回転角  $22.5^\circ$  のファラデー回転子を用い、主軸を  $22.5^\circ$  傾けて配置しても、ON/OFF 制御により、 $0^\circ$  と、 $90^\circ$  の偏光方向切り換えが上記同様に行える。

#### 【0037】

このような偏光制御素子 9 は、分波されて入射する各波長  $\lambda_1 \sim \lambda_n$  の光それぞれに対して上記偏光制御を行うことができる。このため、図 2 に示すように、偏光制御素子 9 は、光の幅方向に沿ってアレイ状に複数個 9a ~ 9n が所定間隔を有して設けられ、各波長 ( $\lambda_1 \sim \lambda_n$ ) 別に偏光制御を行う。OFF 時には、偏光方向を変えず ( $0^\circ$ )、ON 制御で偏光方向を  $90^\circ$  回転させる切り換えが行える。

#### 【0038】

偏光制御素子 9 の後方には、前述した入力側の各光学系と同じ構成による出力側の光学系が配置されている。出力側の光学系は、偏光制御素子 9 を中心として入力側の光学系に対して対称状に配置される。具体的には、図 1 ~ 図 3 に示した入力側の光学系を構成している、ファイバコリメータ 2a, 2b と、光ファイバ 3a, 3b と、コリメータレンズ 4a, 4b と、複屈折板 5a と、波長分散素子 6a と、レンズ 8a と同じ構成部が配置される。すなわち、偏光制御素子 9 の後方には、出力側の光学系として、光の通過順に、レンズ 8b と、波長分散素子 6b と、複屈折板 5b と、コリメータレンズ 4c, 4d と、光ファイバ 3c, 3d と、ファイバコリメータ 2a, 2b (図 1 参照) が配置される。波長分散素子 6b としては、波長分散素子 6a と同様に、回折格子 7 や VIPA 10 を用いることができる。

#### 【0039】

次に、実施の形態 1 の偏光制御による波長別の光路切り換え動作について説明する。光ファイバ 3a の端面から所定の偏光状態を有する光 A が出射されると、この光 A は、入力側の各光学系において、コリメータレンズ 4a を介して複屈折

板 5 a を直進して通過し、入力側の波長分散素子 6 a により波長分散される。すなわち、波長分散素子 6 a は、光 A に含まれる複数の光を波長  $\lambda_1 \sim \lambda_n$  別に異なる方向に分離して出射させる。波長分散された各波長  $\lambda_1 \sim \lambda_n$  の光は、レンズ 8 a により平行光とされ、各波長  $\lambda_1 \sim \lambda_n$  が偏光制御素子 9 に入射される。

#### 【0040】

偏光制御素子 9 は、図 2 に示すように、波長別の偏光制御素子アレイ（アレイと称す）9 a ~ 9 n からなる。各波長  $\lambda_1 \sim \lambda_n$  の光は、このアレイ 9 a ~ 9 n の配列ピッチに一致した間隔を有して入射されるため、波長  $\lambda_1 \sim \lambda_n$  の光に対して個別に偏光方向を切り換えることができる。ここで、偏光制御素子 9 のアレイ 9 a ~ 9 n が全て OFF 状態のままであると、偏光制御素子 9 は、いずれの波長  $\lambda_1 \sim \lambda_n$  の光に対する偏光制御を行わない。このとき、光 A は、入射時の偏光状態のまま偏光制御素子 9（9 a ~ 9 n）を通過する。図 3 に示すように、偏光制御素子 9 を通過した光 A は、レンズ 8 b から波長分散素子 6 b に入射され、再び各波長  $\lambda_1 \sim \lambda_n$  の光が 1 つの光 A として収束された後、複屈折板 5 b をそのまま通過し、光ファイバ 3 c に入射される。

#### 【0041】

次に、偏光制御素子 9（9 a ~ 9 n）が ON 状態となったときの動作について説明する。図 5 は、この発明の実施の形態 1 による透過型の波長選択スイッチによる波長別の光路切り換え動作を説明する図である。光ファイバ 3 a の光 A のうち、所望する波長  $\lambda_1 \sim \lambda_n$  の光の光路を切り換えたいときには、偏光制御素子 9 の該当するアレイ 9 a ~ 9 n を ON 制御する。

#### 【0042】

例えば、光 A に含まれる波長  $\lambda_1$  の光を切り換えるときには、偏光制御素子 9 のアレイ 9 a を ON 制御する。これにより、偏光制御素子 9 のアレイ 9 a 部分を通過した光 A は、波長  $\lambda_1$  の光 A のみ偏光方向が  $90^\circ$  回転するよう切り換えられる。この偏光制御素子 9 を通過した光 A は、複屈折板 5 b を通過する際に、偏光方向が  $90^\circ$  回転された波長  $\lambda_1$  の光の光路のみを光 B の光路方向に切り換えて光ファイバ 3 d に入射させる。なお、光 A のうち、他の波長  $\lambda_2 \sim \lambda_n$  の光は、光 A の光路上を直進して光ファイバ 3 c に入射される。

## 【0043】

このように、所望する波長の光のみ他の系統に光路を切り換えることができるようになる。これにより、第1光伝送路（現用回線）で運用中の光Aのうち、ある波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の成分の光を他の光Bの光路、すなわち第2光伝送路（予備回線）側に切り換えることができるようになる。また、波長選択素子9は、波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ を個々に偏光制御できるため、光Aに対して単一の波長 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ 、あるいは、全ての波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ に対する光路切り換えを行うことができる。

## 【0044】

上記説明では、1入力×2出力の切り換え構成、すなわち、単一の光ファイバ3aから入力された光を光ファイバ3cあるいは光ファイバ3dに入射させる構成について説明したが、上記構成は、この入出力数に限らない。1入力×2出力の構成時には、図1～図3に示した入力側の複屈折板5aの構成は不要である。これに対して、入力側に複屈折板5aを設けることにより、2入力×2出力の全光クロスコネクタの光路切り換えが行えるようになる。

## 【0045】

そして、図3に示したように、光ファイバ3aに入射される光Aの偏光方向に対して、光ファイバ3bに入射される光Bの偏光方向が $90^\circ$ 回転した設定となっている。これにより、光ファイバ3bから入射された光Bは、複屈折板5aにより光路A上を通過する。そして、偏光制御素子9のON/OFF制御により、波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ 別の偏光制御を行うことができる。

## 【0046】

例えば、偏光制御素子9のアレイ9aがOFF状態のときには、光Bの全ての波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の成分は、光Bの光路上の光ファイバ3dから出力される。また、偏光制御素子9のアレイ9aをON制御することにより、光Bに含まれる波長 $\lambda_1$ の光のみ偏光方向を $90^\circ$ 回転させることができる。このとき、出力側の複屈折板5bは、波長 $\lambda_1$ の光のみを光路Aのまま光ファイバ3c側に出射させ、他の波長 $\lambda_2 \sim \lambda_n$ の光は、屈折させ光Bの光路上の光ファイバ3dに出射させることができるようになる。

## 【0047】

これにより、図1に示すように、波長選択スイッチ1に対して、光ファイバ3aの波長( $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$ )の光と、光ファイバ3bの波長( $\lambda_a$ ,  $\lambda_b$ ,  $\lambda_c$ )の光が入力されたとき、任意の波長のみを選択して他の光路に切り換えることにより、光ファイバ3cに波長( $\lambda_a$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_c$ )の光を出力させると同時に、光ファイバ3cに波長( $\lambda_1$ ,  $\lambda_b$ ,  $\lambda_3$ )の光を出力させることができるようになる。なお、上記波長 $\lambda_1 = \lambda_a$ ,  $\lambda_2 = \lambda_b$ ,  $\lambda_3 = \lambda_c$ である。

## 【0048】

以上説明したように、実施の形態1による透過型の波長選択スイッチ1によれば、2系統の光それぞれの任意の波長のみ、あるいは全波長を他の系統に光路切り換えできるため、2入力×2出力の全光クロスコネクタが可能となる。

## 【0049】

(実施の形態2)

次に、この発明の波長選択スイッチの実施の形態2について説明する。図6は、この発明の実施の形態2による反射型の波長選択スイッチの構成を示す斜視図である。また、図7は、この発明の実施の形態2による波長選択スイッチの上面図であり、図8は、この発明の実施の形態2による波長選択スイッチの側面図である。実施の形態2による波長選択スイッチ11は、実施の形態1(図1等参照)で説明した出力側の光学系を除く構成、すなわち、入出力共通の光学系と、反射型の偏光制御素子とを備えて構成したものである。実施の形態2において、実施の形態1(図6～図8参照)で説明した同一の構成部には、同一の符号を附してある。

## 【0050】

実施の形態2の構成を具体的に説明する。この波長選択スイッチ11は、2入力×2出力のポートとして、図示しない光コネクタと、ファイバコリメータ2を備える。ファイバコリメータ2は、光ファイバ3(3a, 3b)を上下位置にそれぞれ配置し、また、各光ファイバ3の端面位置を揃えた状態で固定保持する。図6に示すように、光ファイバ3aは、第1光伝送路20aに対しサーキュレータ21aを介して接続される。光ファイバ3bは、第2光伝送路20bに対しサ

ーキュレータ 21b を介して接続される。サーキュレータ 21a, 21b は、それぞれ、光入力ポート C1 へ入力された光を入光出力ポート C2 から出力し、入光出力ポート C2 へ入力された光を光出力ポート C3 から出力する機能を有している。

#### 【0051】

ファイバコリメータ 2 の上下位置に固定された光ファイバ 3a, 3b の端面から出射された光 A, B は、コリメータレンズ 4a, 4b (図 8 参照) で平行光にされ、複屈折板 5 を介して波長分散素子 6 に入射される。複屈折板 5 は、入射光の偏光方向により透過した光の出射位置を可変させる。複屈折板 5 は、実施の形態 1 同様に、カルサイト、ルチル等の異方性結晶によって成形される。波長分散素子 6 についても、実施の形態 1 同様に回折格子 7 や、VIPA10 を用いることができる。

#### 【0052】

波長分散素子 6 により分光された光 A の出射方向には、光 A を平行光にして偏光制御素子 19 に出射させるレンズ 8 が設けられる。偏光制御素子 19 は、実施の形態 1 と異なり、入射した光を反射させる反射型のものである。偏光制御素子 19 としては、実施の形態 1 で説明したように、強誘電性液晶を用いたり、ファラデー回転子を用いることができる。なお、反射型の偏光制御素子 19 は、透過型のものに比して、約半分の厚さにすることができるため、薄型で安価なものを用いることができる。

#### 【0053】

次に、実施の形態 2 の偏光制御による波長別の光路切り換え動作について説明する。第 1 光伝送路 20a 上の光信号は、サーキュレータ 21a を介して波長選択スイッチ 11 の光ファイバ 3a に入力される。光ファイバ 3a の端面から所定の偏光状態を有する光 A が出射されると、この光 A は、入力側の各光学系において、コリメータレンズ 4a を介して複屈折板 5 を直進して通過し、波長分散素子 6 により波長分散される。波長分散素子 6 は、光 A に含まれる複数の光を波長  $\lambda_1 \sim \lambda_n$  別に異なる方向に分離して出射させる。波長分散された各波長  $\lambda_1 \sim \lambda_n$  の光は、それぞれ偏光制御素子 19 に入射される。

## 【0054】

偏光制御素子19は、図7に示すように、波長別の偏光制御素子19a～19nのアレイからなり、各波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ 別に光の偏光方向を切り換えることができる。ここで、偏光制御素子19のアレイ19a～19nが全てOFF状態のままであると、偏光制御素子19は、波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の光に対する偏光制御を行わずに、全ての波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の光を反射させる。このとき、図8に示すように、光Aは、偏光制御素子19に入射されたときの偏光状態のままで反射され、この反射された光Aは、レンズ8を介して波長分散素子6に戻され、再び各波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の光が1つの光Aとして収束された後、複屈折板5をそのまま通過し、光ファイバ3aに戻す形で入射される。

## 【0055】

この状態で、光ファイバ3aの光は、サーキュレータ21aを介して第1光伝送路20aに戻される。以上のように、偏光制御素子19のアレイ19a～19nが全てOFF状態のときには、第1光伝送路20a上の光信号は、全ての波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の光路切り換えを行わない状態で、この第1光伝送路20aに戻される。

## 【0056】

次に、偏光制御素子19（19a～19n）がON状態となったときの動作について説明する。図9は、この発明の実施の形態2による反射型の波長選択スイッチによる波長別の光路切り換え動作を説明する図である。光ファイバ3aの光Aのうち、所望する波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の光の光路を切り換えたいときには、偏光制御素子19の該当するアレイ19a～19nをON制御する。

## 【0057】

例えば、光Aに含まれる波長 $\lambda_1$ の光を切り換えるときには、偏光制御素子19のアレイ19aをON制御する。これにより、偏光制御素子19のアレイ19a部分に入射された光Aは、波長 $\lambda_1$ の光Aのみ偏光方向が $90^\circ$ 回転して反射される。この偏光制御素子19により反射された光Aは、複屈折板5を通過する際に、偏光方向が $90^\circ$ 回転された波長 $\lambda_1$ の光のみを光Bの光路に切り換えて光ファイバ3bに入射させる。なお、光Aのうち、他の波長 $\lambda_2 \sim \lambda_n$ の光は、

光Aの光路上を直進して光ファイバ3bに入射される。

【0058】

このように、所望する波長の光のみ他の系統に光路を切り換えることができるようになる。これにより、図6に示すように、第1光伝送路（現用回線）20aで運用中の光Aのうち、ある波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_3$ の成分の光のみを他の光Bの光路、すなわち第2光伝送路（予備回線）20b側に切り換えることができるようになる。また、波長選択素子19は、波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ を個々に偏光制御できるため、光Aに対して単一の波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\dots$ 、 $\lambda_n$ 、あるいは、全ての波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ に対する光路切り換えを行うことができる。

【0059】

そして、図9に示したように、光ファイバ3aに入射される光Aの偏光方向に対して、光ファイバ3bに入射される光Bは $90^\circ$ 回転した設定とされている。この光ファイバ3bから入射された光Bは、複屈折板5により光A上を通過する。そして、偏光制御素子19のON/OFF制御により、波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ 別の偏光制御を行うことができる。例えば、偏光制御素子19のアレイ19aがOFF状態のときには、反射された光Bの全ての波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の成分が光Bの光路上の光ファイバ3bに戻される。

【0060】

また、偏光制御素子19のアレイ19aをON制御することにより、反射された光Bに含まれる波長 $\lambda_1$ の光のみ偏光方向を $90^\circ$ 回転させることができる。このとき、複屈折板5は、反射された波長 $\lambda_1$ の光のみを光路Aのまま光ファイバ3aに戻す形で出射させ、他の波長 $\lambda_2 \sim \lambda_n$ の光は、屈折させ光Bの光路上の光ファイバ3bに戻す形で出射させることができるようになる。

【0061】

これにより、図6に示すように、波長選択スイッチ11に対して、第1光伝送路20a上の波長（ $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ ）の光と、第2光伝送路20bの光ファイバ3bの波長（ $\lambda_a$ 、 $\lambda_b$ 、 $\lambda_c$ ）の光が入力されたとき、任意の波長のみを選択して他の光路に切り換えることにより、例えば、第1光伝送路20aに波長（ $\lambda_a$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_c$ ）の光を戻すと同時に、第2光伝送路20bに波長（ $\lambda_1$ 、 $\lambda$

b,  $\lambda_3$ ) の光を出力させることができるようになる。なお、上記波長  $\lambda_1 = \lambda_a$ ,  $\lambda_2 = \lambda_b$ ,  $\lambda_3 = \lambda_c$  である。

#### 【0062】

以上説明したように、実施の形態 2 による透過型の波長選択スイッチ 11 によれば、2 系統の光それぞれの任意の波長のみ、あるいは全波長を他の系統に光路切り換えできるため、2 入力×2 出力の全光クロスコネクタが可能となる。そして、実施の形態 2 の構成によれば、反射型の偏光制御素子 19 を用いるため、装置内での光路長を実施の形態 1 に比して約半分に短縮化できる。同時に、実施の形態 1 で説明した出力側の光学系（波長分散素子 6b, 複屈折板 5b, レンズ 8b）を不要にでき、部品点数と必要な部品コストを削減して安価に構成することができる。

#### 【0063】

（実施の形態 3）

次に、この発明の波長選択スイッチの実施の形態 3 について説明する。図 10 は、この発明の実施の形態 3 による反射型の他の波長選択スイッチの構成を示す斜視図である。また、図 11 は、この発明の実施の形態 3 による反射型の他の波長選択スイッチの側面図である。実施の形態 3 による波長選択スイッチ 21 は、実施の形態 2（図 6～図 9 参照）で説明した反射型の波長選択スイッチ 11 とほぼ同様の構成であるが、入力側の光路と、出力側の光路とが異なる光路となるように構成したものである。これにより、実施の形態 2 で設けられたサーキュレータ 21a, 21b を不要にしたものである。実施の形態 3 において、上記各実施の形態と同一の構成部には、同一の符号を附してある。

#### 【0064】

実施の形態 3 の構成を具体的に説明する。実施の形態 3 による波長選択スイッチ 21 は、実施の形態 2 同様に、入出力共通の光学系と、反射型の偏光制御素子によって構成されている。この波長選択スイッチ 21 は、2 入力×2 出力のポートとして、図示しない光コネクタと、ファイバコリメータ 2 を備える。ファイバコリメータ 2 は、入力側のファイバコリメータ 2a と、出力側のファイバコリメータ 2b からなる。入力側のファイバコリメータ 2a は、入力側の光ファイバ 3



(3 a, 3 b) を上下位置にそれぞれ配置し、出力側のファイバコリメータ 2 b は、出力側の光ファイバ 3 (3 c, 3 d) を上下位置にそれぞれ配置している。このファイバコリメータ 2 は、各光ファイバ 3 の端面位置を揃えた状態で固定保持する。

#### 【0065】

ファイバコリメータ 2 a の上下位置に固定された光ファイバ 3 a, 3 b の端面から出射される光 A, B は、互いに偏光方向が  $90^\circ$  異なる。この光 A, B は、コリメータレンズ 4 a, 4 b (図 11 参照) で平行光にされ、複屈折板 5 により 1 つの光路上の光 A 1 とされた後、波長分散素子 6 に入射される。

#### 【0066】

波長分散素子 6 により分光された各波長  $\lambda_1 \sim \lambda_n$  の光 A 1 の出射方向には、この光 A 1 を平行光にして偏光制御素子 19 に出射させるレンズ 28 が設けられる。図 11 に示すように、このレンズ 28 は、光 A 1 を偏光制御素子 19 に対し所定の入射角度  $\theta$  を有して入射させる。偏光制御素子 19 は、実施の形態 1, 2 同様に、入射した光を反射させる反射型のものである。したがって、偏光制御素子 19 に対して入射角度  $\theta$  で入射された光 A 1 は、同様の反射角度  $\theta$  を有する光 A 2 としてレンズ 28 に出射される。

#### 【0067】

この反射された光 A 2 は、出力側の光路となる。この光 A 2 は、レンズ 28 を介して波長分散素子 6 に入射され、波長分散素子 6 は分光された各波長  $\lambda_1 \sim \lambda_n$  の光 A 2 を多重化した単一光に合波して複屈折板 5 に出射する。複屈折板 5 は、光 A 2 に含まれる偏光方向により、異なる光路の光 A, B として出射する。これら光 A, B は、それぞれ出力側のコリメータレンズ 4 c, 4 d により出力側の光ファイバ 3 c, 3 d に入射される。

#### 【0068】

この実施の形態 3 で用いた波長分散素子 6 は、実施の形態 1, 2 同様の回折格子 7 であるが、他に VIPA 10 を用いることもできる。また、偏光制御素子 19 としては、強誘電性液晶や、ファラデー回転子を用いることができる。この反射型の偏光制御素子 19 は、透過型のものに比して、約半分の厚さにすることが

できるため、実施の形態2同様に、薄型で安価なものを用いることができる。

#### 【0069】

次に、実施の形態3の偏光制御による波長別の光路切り換え動作について説明する。光ファイバ3aの端面から所定の偏光状態を有する光Aが出射されると、この光Aは、入力側の各光学系において、コリメータレンズ4aを介して複屈折板5を直進する光A1として通過し、波長分散素子6により波長分散される。波長分散素子6は、光A1に含まれる複数の光を波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ 別に異なる方向に分離して出射させる。波長分散された各波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の光は、レンズ28により入射角度 $\theta$ を有して偏光制御素子19に入射される。

#### 【0070】

偏光制御素子19は、上述した実施の形態2の構成と同じであり、図7に示したように、波長別の偏光制御素子19a $\sim$ 19nのアレイからなり、各波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ 別に光の偏光方向を切り換えることができる。ここで、偏光制御素子19のアレイ19a $\sim$ 19nが全てOFF状態のままであると、偏光制御素子19は、波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の光に対する偏光制御を行わずに、入射した光A1を反射させる。

#### 【0071】

このとき、図11に示すように、偏光制御素子19は、入射する光A1の入射角度 $\theta$ と同じ出射角度 $\theta$ を有する光A2を反射させる。光A2は、偏光制御素子19に入射されたときの偏光状態のままで反射される。この反射された光A2は、レンズ28を介して波長分散素子6に戻され、再び各波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の光が1つの光Aとして収束された後、複屈折板5をそのまま通過し、出力側の光ファイバ3cに入射される。なお、図11に示すように、光A1と光A2の光路は、光ファイバ3 $\sim$ コリメータレンズ4 $\sim$ 複屈折板5 $\sim$ 波長分散素子6の区間において上下方向に異なる位置を通過している。

#### 【0072】

以上のように、偏光制御素子19のアレイ19a $\sim$ 19nが全てOFF状態のときには、光ファイバ3aから入力された光信号は、全ての波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の光路切り換えを行わない状態で、この光ファイバ3cから出力することができる。

**【0073】**

次に、偏光制御素子 19 (19a~19n) が ON 状態となったときの動作について説明する。光ファイバ 3a から出射された光 A のうち、所望する波長  $\lambda_1 \sim \lambda_n$  の光の光路を切り換えたいときには、偏光制御素子 19 の該当するアレイ 19a~19n を ON 制御する。

**【0074】**

例えば、光 A1 に含まれる波長  $\lambda_1$  の光を切り換えるときには、偏光制御素子 19 のアレイ 19a を ON 制御する。これにより、偏光制御素子 19 のアレイ 19a 部分に入射された光 A1 は、波長  $\lambda_1$  の光 A1 のみ偏光方向が  $90^\circ$  回転した光 A2 として反射される。この偏光制御素子 19 により反射された光 A2 は、複屈折板 5 を通過する際に、偏光方向が  $90^\circ$  回転されている波長  $\lambda_1$  の光のみを光 B の光路に切り換えて光ファイバ 3d に入射させる。なお、光 A2 のうち、他の波長  $\lambda_2 \sim \lambda_n$  の光は、光 A2 の光路上を直進して光ファイバ 3c に戻す形で入射される。

**【0075】**

このように、所望する波長の光のみ他の系統に光路を切り換えることができるようになる。これにより、上記実施の形態 1, 2 同様に、第 1 光伝送路 (現用回線) で運用中の光 A のうち、ある波長  $\lambda_1, \lambda_3$  の成分の光のみを他の光 B の光路、すなわち第 2 光伝送路 (予備回線) 側に切り換えることができるようになる。また、波長選択素子 19 は、波長  $\lambda_1 \sim \lambda_n$  を個々に偏光制御できるため、光 A に対して単一の波長  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ 、あるいは、全ての波長  $\lambda_1 \sim \lambda_n$  に対する光路切り換えを行うことができる。

**【0076】**

そして、図 11 に示したように、光ファイバ 3a に入射される光 A の偏光方向に対して、光ファイバ 3b に入射される光 B は  $90^\circ$  偏光方向が異なる設定とされている。この光ファイバ 3b から入射された光 B は、複屈折板 5 により光路 A1 上を通過する。そして、偏光制御素子 19 の ON/OFF 制御により、波長  $\lambda_1 \sim \lambda_n$  別の偏光制御を行うことができる。例えば、偏光制御素子 19 のアレイ 19a が OFF 状態のときには、反射された光 A2 の全ての波長  $\lambda_1 \sim \lambda_n$  の成

分が光Bの光路を介して光ファイバ3dから出力される。

#### 【0077】

また、偏光制御素子19のアレイ19aをON制御することにより、反射された光A2に含まれる波長 $\lambda_1$ の光のみ偏光方向を $90^\circ$ 回転させることができる。このとき、複屈折板5は、反射された波長 $\lambda_1$ の光のみを光路Aのまま光ファイバ3cから出力させ、他の波長 $\lambda_2 \sim \lambda_n$ の光は、屈折させ光Bの光路上の光ファイバ3dから出力できるようになる。

#### 【0078】

以上説明したように、実施の形態3による透過型の波長選択スイッチ21によれば、2系統の光それぞれの任意の波長のみ、あるいは全波長を他の系統に光路切り換えできるため、2入力×2出力の全光クロスコネクタが可能となる。そして、実施の形態3の構成によれば、反射型の偏光制御素子19を用いるため、装置内での光路長を実施の形態1に比して約半分に短縮化できる。同時に、実施の形態1で説明した出力側の光学系（波長分散素子6b、複屈折板5b、レンズ8b）を不要にでき、部品点数と必要な部品コストを削減して安価に構成することができる。さらに、2入力×2出力の独立した全ポートを備えているため、実施の形態2で用いたサーキュレータを不要にできる。

#### 【0079】

（実施の形態4）

次に、この発明の波長選択スイッチの実施の形態4について説明する。図12は、この発明の実施の形態4による反射型の他の波長選択スイッチの構成を示す側面図である。実施の形態4による波長選択スイッチ31は、実施の形態3（図10、図11参照）で説明した反射型の波長選択スイッチ21とほぼ同様の構成からなる。実施の形態3との相違点は、複屈折板を2枚用いる点と、2枚の複屈折板の間に光の偏光方向を $90^\circ$ 回転させる $\lambda/2$ 板等からなる波長板を設けた点である。実施の形態4において、前述した各実施の形態と同一の構成部には、同一の符号を附してある。

#### 【0080】

実施の形態4の構成を具体的に説明する。実施の形態4では、第1の光伝送路

に接続されたサーキュレータを介して、光ファイバ3 aから光信号が入出力される第2の光伝送路についてもサーキュレータを介して光ファイバ3 bから光信号が入出力される（図1等参照）。

#### 【0081】

第1の光伝送路側の光を伝送する光ファイバ3 aの端面から出射される光Aは、コリメータレンズ4 aにより平行光にされ、複屈折板35 aに入射される。複屈折板35 aは、光Aの偏光状態に応じて出射角度を切り換える。図示の例では、入射された光Aの偏光方向が $0^\circ$ であるときには、この光Aを直進させて光A1として出射させ、入射された光Aの偏光方向が $90^\circ$ 回転していれば、斜め下方に屈折させ所定距離L1離れた位置から光A2として出射させる。

#### 【0082】

また、光ファイバ3 aとコリメータレンズ4 aの下方には、第2の光伝送路側の光を伝送する光ファイバ3 bと、コリメータレンズ4 bが設けられる。複屈折板35 aは、光Bの偏光方向が $0^\circ$ であるときには、この光B1を直進させ、入射された光Bの偏光方向が $90^\circ$ 回転していれば、斜め下方に屈折させ所定距離L1離れた位置から光B2として出射させる。

#### 【0083】

複屈折板35 aの後方に配置される波長板39は、光A2と光B1との間に設けられる。そして、光A2と、光B2の偏光方向を $90^\circ$ 回転させる。これにより、光Aについては、波長板39を通過しない光A1の偏光方向と、波長板39を通過した光A2の偏光方向を一致させる（偏光方向 $0^\circ$ ）。また、光Bについては、波長板39を通過した光B1の偏光方向と、波長板39を通過しない光B2の偏光方向を一致させる（偏光方向 $90^\circ$ ）。光A（A1, A2）と、光B（B1, B2）は、それぞれ複屈折板35 bの上下位置に入射される。

#### 【0084】

複屈折板35 bは、偏光方向が $0^\circ$ の光A（A1, A2）を直進させ、偏光方向が $90^\circ$ の光B（B1, B2）を屈折させる。この複屈折板35 bは、屈折させた光Bの出射位置を光Aの出射位置に一致させるよう、所定の厚さWを有する。これにより、複屈折板35 bは、偏光方向が $0^\circ$ の光Aと、偏光方向が $90^\circ$

の光Bとを偏波多重させて出射する。複屈折板35bの後方には、以下に説明する波長分散素子6と、レンズ28と、反射型の偏光制御素子19が配置されている。

#### 【0085】

次に、光ファイバ3aに偏光方向が $0^\circ$ の光Aが入射された場合の光路について説明する。複屈折板35bを通過した光C1（偏光方向 $0^\circ$ ）は、波長分散素子6（図示の例では、回折格子7）によりそれぞれ波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ 別に波長分散される。波長分散素子6で波長分散された光C1は、レンズ28に入射される。レンズ28は、波長分散された光C1を平行光にするとともに、入射角度を有して偏光制御素子19に入射させる。

#### 【0086】

偏光制御素子19は、実施の形態3同様に反射型で各波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ 別に偏光方向を切り換えるアレイ状に形成されており、各アレイが個別にON/OFF制御する。光C1に対する偏光方向を切り換えないとき、偏光制御素子19は、OFF状態であり、入射した各波長の光 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の光C1の偏光方向を変えない。

#### 【0087】

偏光制御素子19は入射角度と同じ出射角度で光C2を反射させる。この光C2は、レンズ28を介し波長分散素子6で合波された後、複屈折板35bに入射される。複屈折板35bは、入射された光C2を偏光方向が $0^\circ$ の光A2としてそのまま直進させ、波長板39により偏光方向を $90^\circ$ 回転させた後、複屈折板35aで屈折され、コリメータレンズ4aを介して光ファイバ3aに出射される。

#### 【0088】

次に、光ファイバ3aに偏光方向が $0^\circ$ の光Aが入射され、この光Aのうち、所望する波長 $\lambda_1$ の光路を切り換える動作について説明する。偏光制御素子19には、上記のように、偏光方向が $0^\circ$ の光C1が入射される。そして、偏光制御素子19をON制御することにより、この偏光制御素子19は、入射した光C1の波長 $\lambda_1$ の偏光方向だけを $90^\circ$ 回転し反射する。偏光制御素子19で反射さ

れた偏光方向が  $90^\circ$  回転した光 C 2 は、複屈折板 35 b 部分で屈折され、光 B 2 側に切り換えられる。この光 B 2 は、波長板 39 を介さずに複屈折板 35 a に入射され、この複屈折板 35 a によって屈折され、コリメータレンズ 4 b を介して光ファイバ 3 b に出射される。なお、光ファイバ 3 a に入力された光 A のうち、波長  $\lambda_1$  以外 ( $\lambda_2 \sim \lambda_n$ ) の成分の光 A は、光路切り換えされずに、光ファイバ 3 a から出力される。

#### 【0089】


次に、光ファイバ 3 a に対して偏光方向が  $90^\circ$  の光 A が入射された場合の光路について説明する。この光 A は、複屈折板 35 a により屈折された光 A 2 の光路を進行し、波長板 39 により偏光方向が  $90^\circ$  回転され、偏光方向  $0^\circ$  として複屈折板 35 b に入射される。複屈折板 35 b を通過した光 C 2 (偏光方向  $0^\circ$ ) は、レンズ 28 により平行光にされ、入射角度を有して偏光制御素子 19 に入射する。

#### 【0090】

光 C 2 に対する偏光方向を切り換ええないとき、偏光制御素子 19 は、OFF 状態であり、入射した各波長の光  $\lambda_1 \sim \lambda_n$  の光 C 2 の偏光方向を変えない。このとき、偏光制御素子 19 は入射角度と同じ出射角度で光 C 1 を反射させる。この光 C 1 は、レンズ 28 を介し波長分散素子 6 で合波された後、複屈折板 35 b に入射される。複屈折板 35 b は、偏光方向が  $0^\circ$  で入射した光 C 1 をそのまま直進させ光 A 1 として出射する。この光 A 1 は、波長板 39 を介さず、また、複屈折板 35 a を直進し、コリメータレンズ 4 a を介して光ファイバ 3 a に出射される。

#### 【0091】

次に、光ファイバ 3 a に偏光方向が  $90^\circ$  の光 A が入射され、この光 A のうち、所望する波長  $\lambda_1$  の光路を切り換えるときの動作について説明する。偏光制御素子 19 には、上記した偏光方向  $0^\circ$  の光 C 2 が入射される。そして、偏光制御素子 19 を ON 制御すると、入射された光 C 2 の波長  $\lambda_1$  の偏光方向だけを  $90^\circ$  回転させて反射する。これにより、偏光制御素子 19 で反射され、偏光方向が  $90^\circ$  回転された光 C 1 は、複屈折板 35 b 部分で屈折され、光 B 1 側に切り換



えられる。この光B 1は、波長板3 9により偏光方向が $90^\circ$ 回転されて（偏光方向 $0^\circ$ ）、複屈折板3 5 aに入射される。そして、この光B 1は、複屈折板3 5 aを直進し、コリメータレンズ4 bを介して光ファイバ3 bに出射される。なお、光ファイバ3 aに入力された光Aのうち、波長 $\lambda_1$ 以外（ $\lambda_2 \sim \lambda_n$ ）の成分の光Aは、光路切り換えされずに、光ファイバ3 aから出力される。

#### 【0092】

上記説明では、一方の光ファイバ3 aに対する光Aの入力を中心に説明したが、他方の光ファイバ3 bに対する光Bの入力についても同様に光路切り換えを行うことができる。

#### 【0093】

以上説明したように、実施の形態4による波長選択スイッチ3 1によれば、入射される光Aの偏光方向が $0^\circ$ あるいは $90^\circ$ のいずれであっても、同様な光路切り換えを行うことができる。すなわち、偏光依存性をもたない波長選択スイッチ3 1を構成できる。また、2系統の光それぞれの任意の波長のみ、あるいは全波長を他の系統に光路切り換えできるため、2入力×2出力の全光クロスコネクタが可能となる。また、実施の形態4の構成によれば、反射型の偏光制御素子1 9を用いるため、装置内での光路長を実施の形態1に比して約半分短縮化できる。

#### 【0094】

（実施の形態5）

次に、この発明の波長選択スイッチの実施の形態5について説明する。図1 3は、この発明の実施の形態5による反射型の他の波長選択スイッチの構成を示す斜視図である。また、図1 4は、この発明の実施の形態5による波長選択スイッチに用いる波長板の配置を示す正面図であり、図1 5は、この発明の実施の形態5による波長選択スイッチの説明図である。図1 5（a）は、波長選択スイッチの側面図である。図1 5（b）は、光の偏向方向別の光路切り換え状態を示す図であり、偏光方向を矢印（ $\rightarrow$ ， $\downarrow$ ）で示してある。 $\rightarrow$ は偏光方向が $0^\circ$ であり、 $\uparrow$ は偏光方向が $90^\circ$ であることを示している。

#### 【0095】



実施の形態 5 による波長選択スイッチ 41 は、実施の形態 4（図 12 参照）で説明した反射型の波長選択スイッチ 31 とほぼ同様の構成からなる。実施の形態 4 との相違点は、2 枚用いた複屈折板による光の屈折方向を互いに垂直となるよう配置している。また、波長板の配置を変更することにより、2 つの光入力ポートと 2 つの光出力ポートを配置している。これにより、実施の形態 5 では、サーキュレータを用いずに全光クロスコネクタを可能にしている。この実施の形態 5 において、前述した各実施の形態と同一の構成部には、同一の符号を附してある。

#### 【0096】

実施の形態 5 の構成を具体的に説明する。図 15 に示すように、第 1 の光伝送路側の光を伝送し、光入力ポート 1 の光ファイバ 3a の端面から出射される光 A は、コリメータレンズ 4a により平行光にされ、複屈折板 35a に入射される。複屈折板 35a は、光 A の偏光状態に応じて出射角度を切り換える。図示の例では、入射された光 A の偏光方向が  $0^\circ$  であるときには、この光 A1 を直進させ、入射された光 A の偏光方向が  $90^\circ$  回転していれば、斜め下方に屈折させ所定距離 L1 離れた位置から光 A2 として出射させる。なお、光入力ポート 2 である光ファイバ 3b 側の詳細な説明は省略するが、光入力ポート 1 と同様の構成が横に配置されている。

#### 【0097】

また、光入力ポート 1 の光ファイバ 3a とコリメータレンズ 4a の下方には、光出力ポート 1 の光ファイバ 3c と、コリメータレンズ 4c が設けられる。また、光入力ポート 2 の光ファイバ 3b とコリメータレンズ 4b の下方には、光出力ポート 2 の光ファイバ 3d と、コリメータレンズ 4d が設けられる。

#### 【0098】

複屈折板 35a の後方に配置される  $\lambda/2$  板等からなる波長板 39 は、図 14 に示すように、光入力ポート 1（光ファイバ 3a）に入射された光 A のうち、光 A2 の光路上に波長板 39a として設けられる。また、光入力ポート 2（光ファイバ 3b）に入射された光 A に対しては、光 A1 の光路上に設けられる。また、波長板 39 は、光出力ポートにも設けられ、光出力ポート 1（光ファイバ 3c）

に出射させる光Bのうち、光B 1の光路上に波長板39 cとして設けられる。また、光出力ポート2（光ファイバ3 d）に出射させる光Bについては、光B 2の光路上に設けられる。これにより、波長板39 aは光入力ポート1の光A 2を、波長板39 bは光入力ポート2の光A 1を、波長板39 cは光出力ポート1の光B 2を、波長板9 dは光出力ポート2の光B 1の偏光方向をそれぞれ90°回転させる。

#### 【0099】

これにより、光入力ポート1の光Aについては、光A 1の偏光方向となるように、波長板39 aを通過した光A 2の偏光方向を一致させる。これらの光A（A 1，A 2）は、複屈折板35 bに入射される。

#### 【0100】

複屈折板35 bは、光入力ポート1と、光入力ポート2から入射された光Aを同一の光路上に出射させる光路切り換え用として設けられる。光入力ポート1に入射される光の偏光方向と、光入力ポート2に入射される光は、互いに偏光方向が90°異なるものとする。この複屈折板35 bの屈折方向は、図15の横方向であり、この複屈折板35 bの屈折方向は、複屈折板35 aの屈折方向（上下方向）と垂直な方向である。

#### 【0101】

この複屈折板35 bは、光入力ポート1と光入力ポート2から入射される光Aの間隔に対応した厚さを有して形成されるため、実施の形態4に示した構成に比して、入射位置の間隔を狭めることができ、薄型化を図ることができる。なお、光出力ポート1の光Bについては、波長板39 cを通過した光B 1の偏光方向を、光B 2の偏光方向に一致させる。複屈折板35 bは、光出力ポート2の光Bの光路上にも位置しており、この光Bについても同様の光路切り換えを行う。

#### 【0102】

複屈折板35 bの後方には、以下に説明する波長分散素子6と、レンズ28と、反射型の偏光制御素子19が配置されている。偏光制御素子19を中心として光A，Bの光路を説明すると、光A 1の入射角度と光B 1の出射角度が一致する。また、光A 2の入射角度と光B 2の入射角度が一致している。偏光制御素子1

9に対する、これら光A 1, A 2の入射角度と、光B 1, B 2の出射角度は、レンズ28によって設定されている。

#### 【0103】

次に、図15(b)を参照して、光入力ポート1に入射された光Aの光路切り換え動作について説明する。まず、光入力ポート1である光ファイバ3aに偏光方向が $0^\circ$ の光Aが入射された場合の光路について説明する。偏光方向が $0^\circ$ の光Aは、複屈折板35aを直進して光A 1の光路を通過し、波長板39aの上部を通過し(波長板39a内部は通過しない)、複屈折板35bに入射される。この光A 1は、偏光方向 $0^\circ$ であるため、複屈折板35bを直進して通過し、波長分散素子6(図示の例では、回折格子7)に入射される。波長分散素子6は、この光A 1を波長 $\lambda 1 \sim \lambda n$ 別に波長分散させる。波長分散素子6で波長分散された光A 1は、レンズ28に入射される。レンズ28は、波長分散された光A 1を平行光にするとともに、入射角度を有して偏光制御素子19に入射させる。

#### 【0104】

偏光制御素子19は、実施の形態3同様に反射型で各波長 $\lambda 1 \sim \lambda n$ 別に偏光方向を切り換えるアレイ状に形成されており、各アレイが個別にON/OFF制御する。光A 1に対する偏光方向を切り換ええないとき、偏光制御素子19は、OFF状態であり、入射した各波長の光 $\lambda 1 \sim \lambda n$ の光A 1の偏光方向を変えない。

#### 【0105】

偏光制御素子19は入射角度と同じ出射角度の光B 1を反射させる。この光B 1は、レンズ28を介し波長分散素子6で合波された後、複屈折板35bに入射される。複屈折板35bは、入射された光B 1の偏光方向が $0^\circ$ であるため、この光B 1をそのまま直進させ、波長板39cに入射される。波長板39cは、光B 1の偏光方向を $90^\circ$ 回転させて複屈折板35aに入射させる。複屈折板35aは、この偏光方向が $90^\circ$ の光B 1を屈折させて光Bを出射する。この光Bは、コリメータレンズ4cを介して光出力ポート1の光ファイバ3cに出射される。

#### 【0106】

次に、光入力ポート 1 の光ファイバ 3 a に偏光方向が  $0^\circ$  の光 A が入射され、この光 A のうち、所望する波長  $\lambda_1$  の光路を切り換える動作について説明する。偏光制御素子 19 には、上記のように、偏光方向が  $0^\circ$  の光 A 1 が入射される。そして、偏光制御素子 19 を ON 制御することにより、この偏光制御素子 19 は、入射した光 A 1 のうち、波長  $\lambda_1$  の偏光方向だけを  $90^\circ$  回転させ反射する。偏光制御素子 19 で反射された偏光方向が  $90^\circ$  回転した光 B 1 は、波長分散素子 6 で合波された後、複屈折板 35 b により、ポート 1 からポート 2 の光路に切り換えられる。この光 B 1 は、波長板 39 d の下部を通過し（波長板 39 d の内部は通過しない）、複屈折板 35 a に入射される。この光 B 1 は、複屈折板 35 a によって屈折され、コリメータレンズ 4 d を介して光出力ポート 2 の光ファイバ 3 d に出射される。なお、光入力ポート 1 の光ファイバ 3 a に入力された光 A のうち、波長  $\lambda_1$  以外（ $\lambda_2 \sim \lambda_n$ ）の成分の光 A は、光路切り換えされずに、光出力ポート 1 の光ファイバ 3 c から出力される。

#### 【0107】

次に、光入力ポート 1 の光ファイバ 3 a に対して偏光方向が  $90^\circ$  の光 A が入射された場合の光路について説明する。この光 A は、複屈折板 35 a により屈折された光 A 2 の光路を進行し、波長板 39 a により偏光方向が  $90^\circ$  回転され、偏光方向  $0^\circ$  として複屈折板 35 b に入射される。複屈折板 35 b を通過した光 A 2（偏光方向  $0^\circ$ ）は、レンズ 28 により平行光にされ、入射角度を有して偏光制御素子 19 に入射する。

#### 【0108】

光 A 2 に対する偏光方向を切り換ええないとき、偏光制御素子 19 は、OFF 状態であり、入射した各波長の光  $\lambda_1 \sim \lambda_n$  の光 A 2 の偏光方向を変えない。このとき、偏光制御素子 19 は入射角度と同じ出射角度で光 B 2 を反射させる。この光 B 2 は、レンズ 28 を介し波長分散素子 6 で合波された後、複屈折板 35 b に入射される。複屈折板 35 b は、偏光方向が  $0^\circ$  で入射した光 B 2 をそのまま直進させる。この光 B 2 は、波長板 39 c の上部位置を通過し（波長板 39 c 内部は通過しない）、複屈折板 35 a に入射される。この光 B 2 は、複屈折板 35 a を直進し、コリメータレンズ 4 a を介して光ファイバ 3 a に出射される。

## 【0109】

次に、光入力ポート1の光ファイバ3aに偏光方向が $90^\circ$ の光Aが入射され、この光Aのうち、所望する波長 $\lambda_1$ の光路を切り換えときの動作について説明する。偏光制御素子19には、上記した偏光方向 $0^\circ$ の光A2が入射される。そして、偏光制御素子19をON制御すると、入射された光A2の波長 $\lambda_1$ の偏光方向だけを $90^\circ$ 回転させて反射する。これにより、偏光制御素子19で反射され、偏光方向が $90^\circ$ 回転された光B2は、複屈折板35b部分で屈折され、ポート1からポート2の光路に切り換えされる。この光B2は、波長板39dにより偏光方向が $90^\circ$ 回転されて（偏光方向 $0^\circ$ ）、複屈折板35aに入射される。そして、この光B2は、複屈折板35aを直進し、コリメータレンズ4dを介して光出力ポート2の光ファイバ3dに出射される。なお、光入力ポート1の光ファイバ3aに入力された光Aのうち、波長 $\lambda_1$ 以外（ $\lambda_2 \sim \lambda_n$ ）の成分の光Aは、光路切り換えされずに、光出力ポート1の光ファイバ3cから出力される。

## 【0110】

上記説明では、光入力ポート1である光ファイバ3aに対する光Aの光路切り換えを中心に説明したが、他方の光入力ポート2である光ファイバ3bに対する光Bの入力についても同様に、光路を切り換えて光出力ポート1、あるいは光出力ポート2から出力させることができる。

## 【0111】

これにより、図13に示すように、波長選択スイッチ41に対して、光入力ポート1である光ファイバ3aの波長（ $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$ ）の光と、光入力ポート2の光ファイバ3bの波長（ $\lambda_a$ ,  $\lambda_b$ ,  $\lambda_c$ ）の光が入力されたとき、任意の波長のみを選択して他の光路に切り換えることにより、例えば、光出力ポート1の光ファイバ3cから波長（ $\lambda_a$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_c$ ）の光を出力できると同時に、光出力ポート2の光ファイバ3dから波長（ $\lambda_1$ ,  $\lambda_b$ ,  $\lambda_3$ ）の光を出力させることができるようになる。なお、上記波長 $\lambda_1 = \lambda_a$ ,  $\lambda_2 = \lambda_b$ ,  $\lambda_3 = \lambda_c$ である。

## 【0112】

以上説明したように、実施の形態5によれば、偏光分離用の複屈折板と光路切り換え用の複屈折板とを、光の屈折方向（ビームのシフト方向）が垂直となるよう配置することで、小型化を図ることができる。特に、実施の形態4（図12）に示した構成では、2枚の複屈折板35a, 35bによる光の屈折方向がいずれも同じ上下方向である。このような構成において、光路切り換え用として用いた後段の複屈折板35bは、2つの光路A, Bを同一の光路Cに一致させるために大きな厚さWを必要とし、大型化および部品コストが高くなる。前述したように、複屈折板35bは、一定な屈折角度を有しているため、2つの光路A, Bの入射位置が離れるにしたがい、必然的に厚さWが大きくなる。

#### 【0113】

実施の形態5の構成によれば、2枚の複屈折板35a, 35bによる光の屈折方向を互いに垂直にすることにより、前段の複屈折板35aにおける複数の光の出射位置が離れていても、後段の複屈折板35bの厚さWが増えることなく、後段の複屈折板35bに薄いものを用いることができるようになる。

#### 【0114】

以上説明したように、実施の形態5による波長選択スイッチ41によれば、入射される光Aの偏光方向が $0^\circ$ あるいは $90^\circ$ のいずれであっても、同様な光路切り換えを行うことができる。すなわち、偏光依存性をもたない波長選択スイッチ41を構成できる。また、2系統の光それぞれの任意の波長のみ、あるいは全波長を他の系統に光路切り換えできるため、2入力×2出力の全光クロスコネクタが可能となる。また、実施の形態5の構成によれば、反射型の構成であるため、全体の光路長を実施の形態1に比して約半分に短縮化できる。さらに、後段に設けられる光路切り換え用の複屈折板35bの厚さを薄くできるため、実施の形態4に比して部品コストを抑え、光路長をより短くすることができるようになる。

#### 【0115】

以上説明したように、この発明の各実施の形態では、マイクロミラーアレイを用いずに、全光クロスコネクタが可能となり、WDM通信による光ネットワークの各ノードにおいて、波長情報を基にしたダイナミックなパスの設定／解除を行

うことができるようになる。

【0 1 1 6】

(付記 1) 波長多重された光が複数入力され、複数の入力された光をそれぞれ波長別に選択して複数出力する波長選択スイッチにおいて、

前記波長多重された光が複数入力される複数の光入力ポートと、

前記波長別に選択された光を複数出力する複数の光出力ポートと、

光の偏光方向に応じて前記光を異なる屈折角度で屈折し分離させるものであり、前記複数の光入力ポート側に入射された光を、内部側の単一の出射位置から出射させる第 1 の光屈折板と、

前記第 1 の光屈折板から出射された光を受光し、該光に含まれる波長別の光の成分を異なる方向に分離して出射させる第 1 の合分波器と、

前記第 1 の合分波器から出射される光を前記波長別に所定間隔を有する平行光にする第 1 の光学系と、

前記第 1 の光学系により平行光とされた前記光の偏光方向を波長別に選択的に制御自在な透過型の偏光制御手段と、

前記偏光制御手段から出射された前記波長別の平行光を集光する第 2 の光学系と、

前記第 2 の光学系で集光された前記波長別に分離された光を受光し、該光を合波して出射させる第 2 の合分波器と、

前記第 2 の合分波器から出射された合波後の光が単一の入射位置から入射され、該入射された光の偏光方向に応じて該光を異なる屈折角度で屈折させ、前記複数の光出力ポートに出射させる第 1 の光屈折板と、

を備えたことを特徴とする波長選択スイッチ。

【0 1 1 7】

(付記 2) 波長多重された光が複数入力され、複数入力された光をそれぞれ波長別に選択して複数出力する波長選択スイッチにおいて、

前記波長多重された光が複数入出力される複数の光入出力ポートと、

光の偏光方向に応じて前記光を異なる屈折角度で屈折し分離させるものであり、前記複数の光入出力ポート側の複数の入出射位置と、内部側の単一の出射位置

を有する光屈折板と、

前記光屈折板側から出射された光を受光し、該光に含まれる波長別の光の成分を異なる方向に分離して出射させ、また、該出射方向から入射される光を合波して前記光屈折板に出射させる合分波器と、

前記合分波器から出射された光を前記波長別に所定間隔を有する平行光にする光学系と、

前記光学系により平行光とされた前記光の偏光方向を波長別に選択的に制御自在であり、入射した光を反射させる反射型の偏光制御手段と、

を備えたことを特徴とする波長選択スイッチ。

#### 【0118】

(付記3) 前記偏光制御手段に入射する光の入射光路と、該偏光制御手段が反射する光の出射光路を異なる光路とし、

前記光入出力ポートに代えて、前記光の入射光路上に複数の光入力ポートと、前記光の出射光路上に複数の光出力ポートを設けたことを特徴とする付記2に記載の波長選択スイッチ。

#### 【0119】

(付記4) 波長多重された光が複数入力され、複数の入力された光をそれぞれ波長別を選択して複数出力する波長選択スイッチにおいて、

前記波長多重された光が複数入力される複数の光入力ポートと、

前記波長別を選択された光を複数出力する複数の光出力ポートと、

光の偏光方向に応じて該光を異なる屈折角度で屈折し分離させるものであり、前記複数の光入力ポート側の複数の入射位置と、内部側の単一の出射位置とを、前記複数の光入力ポートと、前記複数の光出力ポートそれぞれに対応して有する光屈折板と、

前記光屈折板側から出射された光を受光し、該光に含まれる波長別の光の成分を異なる方向に分離して出射させ、また、該出射方向から入射される光を合波して前記光屈折板に出射させる合分波器と、

前記合分波器から出射された光を前記波長別に所定間隔を有する平行光にする光学系と、



前記光学系により平行光とされた前記光の偏光方向を波長別に選択的に制御自在であり、入射した光を反射させる反射型の偏光制御手段と、  
を備えたことを特徴とする波長選択スイッチ。

【0120】

(付記5) 前記光学系は、前記偏光制御手段に対する前記光の入射光路の傾きと、前記光の出射光路の傾きを等しくすることを特徴とする付記3または4に記載の波長選択スイッチ。

【0121】

(付記6) 前記光屈折板と、前記合分波器との間には、  
前記光屈折板により分離された光が入射され、該光屈折板により分離された一方の光の偏光方向と、他方の光の偏光方向とを一致させて出射する波長板と、  
前記波長板から出射された光の光路を、該光の偏光方向に応じて分離、あるいは結合させる光路切り換え用の光屈折板と、  
を備えたことを特徴とする付記2～5のいずれか一つに記載の波長選択スイッチ。

【0122】

(付記7) 前記光屈折板による光の屈折方向に対し、前記光路切り換え用の光屈折板による光の屈折方向が垂直なことを特徴とする付記6に記載の波長選択スイッチ。

【0123】

(付記8) 前記偏光制御素子として磁気光学素子を用いたことを特徴とする付記1～7のいずれか一つに記載の波長選択スイッチ。

【0124】

(付記9) 前記偏光制御素子として液晶を用いたことを特徴とする付記1～7のいずれか一つに記載の波長選択スイッチ。

【0125】

(付記10) 前記波長分散素子として回折格子を用いたことを特徴とする付記1～9のいずれか一つに記載の波長選択スイッチ。

【0126】

(付記 11) 前記波長分散素子として V I P A (V i r t u a l l y I m a g e d P h a s e A r r a y) を用いたことを特徴とする付記 1～9 のいずれか一つに記載の波長選択スイッチ。

【0127】

【発明の効果】

以上説明したように、この発明によれば、光入力ポートに入力される波長多重された光を波長分散素子により分散させてから、偏光制御素子によって各波長毎の光成分それぞれの偏光方向を変える制御を行い、再度の合波後に、光の偏光方向別に異なるポートに出力することにより、任意の波長成分の光を他のポートに切り換えて出力することができるようになる。また、複数の光入力ポートから入力された光を複数の光出力ポートに波長別に切り換えて出力できるため、全光クロスコネクタが可能であるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

この発明の実施の形態 1 による透過型の波長選択スイッチの構成を示す斜視図である。

【図 2】

この発明の実施の形態 1 による波長選択スイッチの上面図である。

【図 3】

この発明の実施の形態 1 による波長選択スイッチの側面図である。

【図 4】

波長分散素子として用いられる V I P A の一部側断面図である。

【図 5】

この発明の実施の形態 1 による透過型の波長選択スイッチによる波長別の光路切り換え動作を説明する図である。

【図 6】

この発明の実施の形態 2 による反射型の波長選択スイッチの構成を示す斜視図である。

【図 7】

この発明の実施の形態 2 による波長選択スイッチの上面図である。

【図 8】

この発明の実施の形態 2 による波長選択スイッチの側面図である。

【図 9】

この発明の実施の形態 2 による反射型の波長選択スイッチによる波長別の光路切り換え動作を説明する図である。

【図 10】

この発明の実施の形態 3 による反射型の他の波長選択スイッチの構成を示す斜視図である。

【図 11】

この発明の実施の形態 3 による反射型の他の波長選択スイッチの側面図である。

。

【図 12】

この発明の実施の形態 4 による反射型の他の波長選択スイッチの構成を示す側面図である。

【図 13】

この発明の実施の形態 5 による反射型の他の波長選択スイッチの構成を示す斜視図である。

【図 14】

この発明の実施の形態 5 による波長選択スイッチに用いる波長板の配置を示す正面図である。

【図 15】

この発明の実施の形態 5 による波長選択スイッチの説明図である。

【図 16】

波長選択スイッチの概要構成を示す図である。

【図 17】

マイクロミラーアレイに設けられるマイクロミラーの構成を示す側面図である。

。

【図 18】

マイクロミラーの動作状態を示す図である。

【符号の説明】

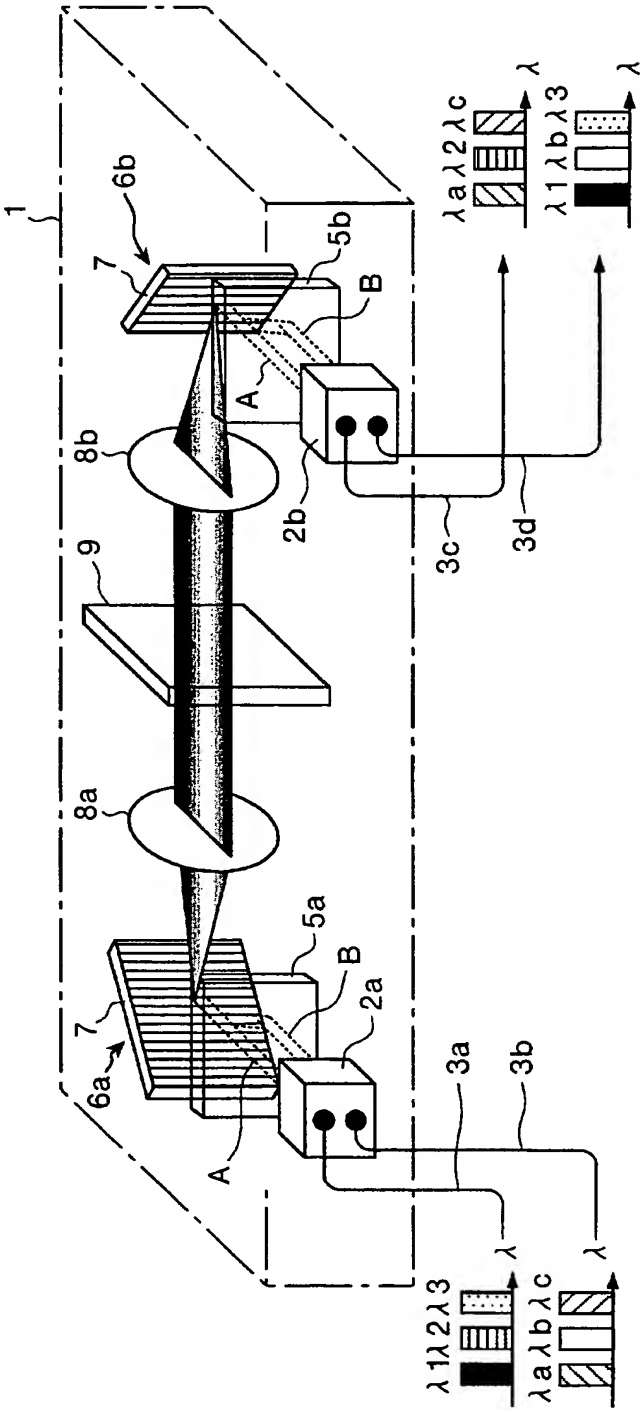
- 1, 1 1, 3 1, 4 1 波長選択スイッチ
- 2 (2 a, 2 b) ファイバコリメータ
- 3 (3 a ~ 3 d) 光ファイバ
- 4 (4 a ~ 4 d) コリメータレンズ
- 5 (5 a, 5 b), 3 5 a, 3 5 b 複屈折板
- 6 a, 6 b 波長分散素子
- 7 回折格子
- 8 (8 a, 8 b), 2 8 レンズ
- 9, 1 9 偏光制御素子
- 1 0 V I P A
- 3 9 (3 9 a ~ 3 9 d) 波長板

【書類名】

図面

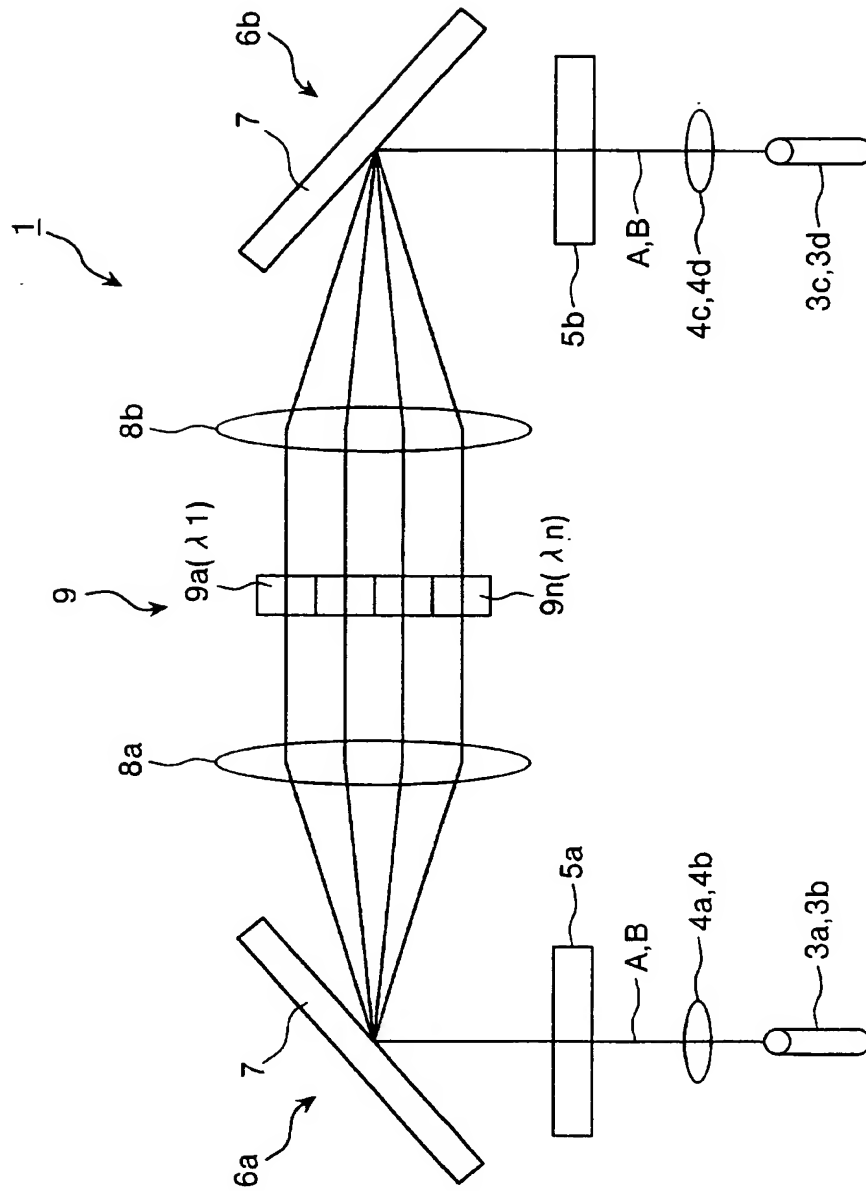
【図 1】

この発明の実施の形態 1 による透過型の波長選択スイッチの構成を示す斜視図



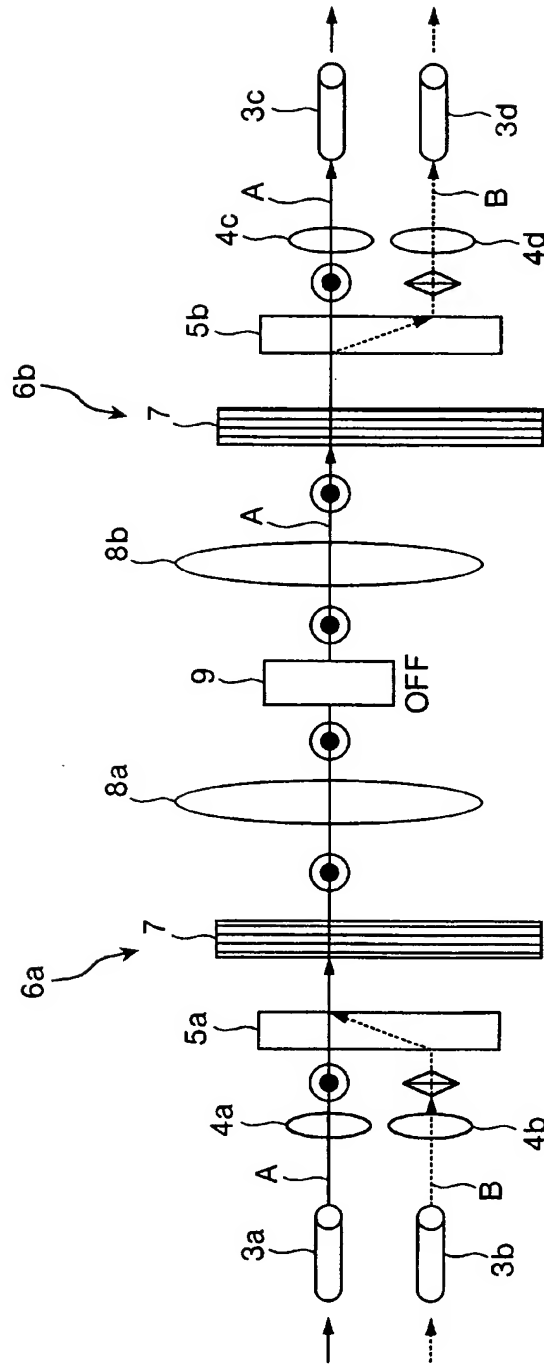
【図 2】

この発明の実施の形態 1 による波長選択スイッチの上面図



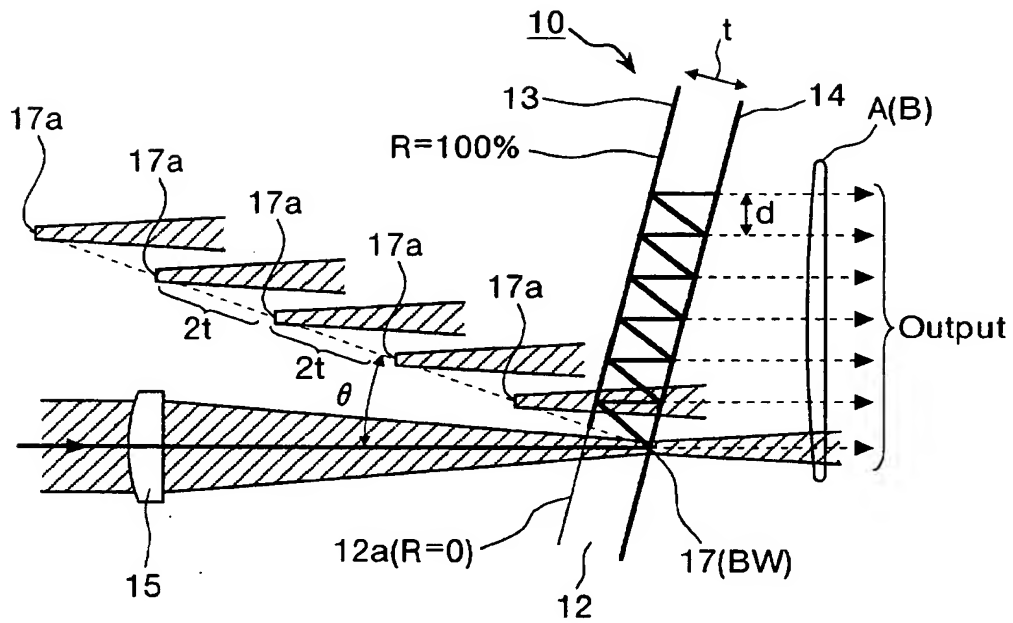
【図 3】

この発明の実施の形態 1 による波長選択スイッチの側面図



【図 4】

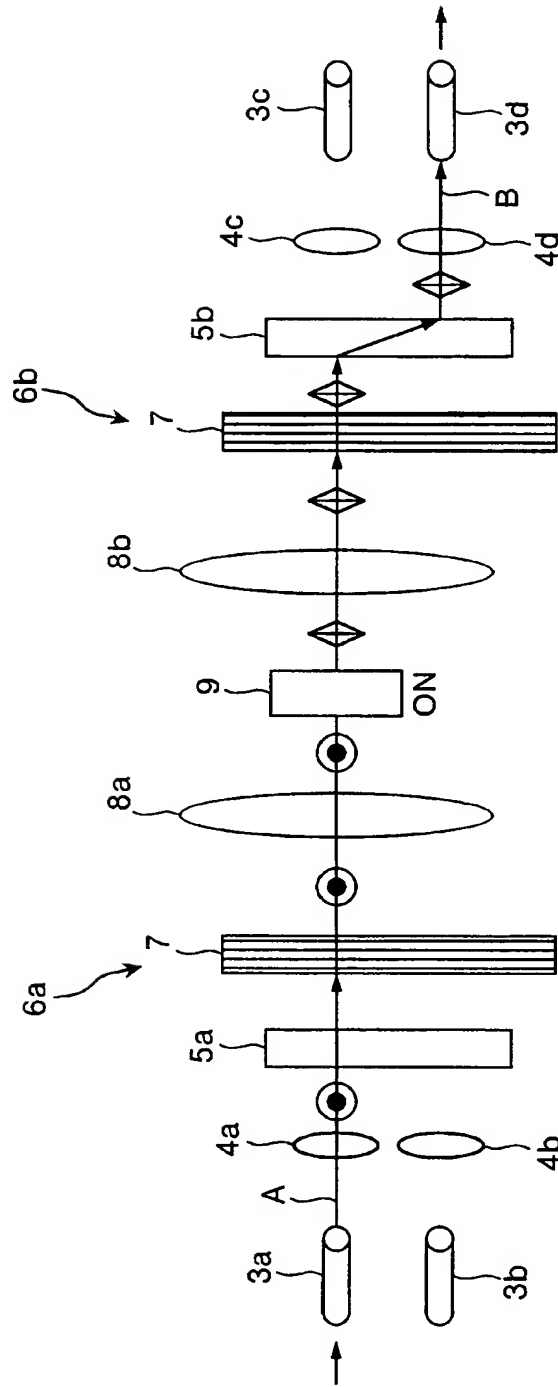
波長分散素子として用いられるVIPAの一部側断面図





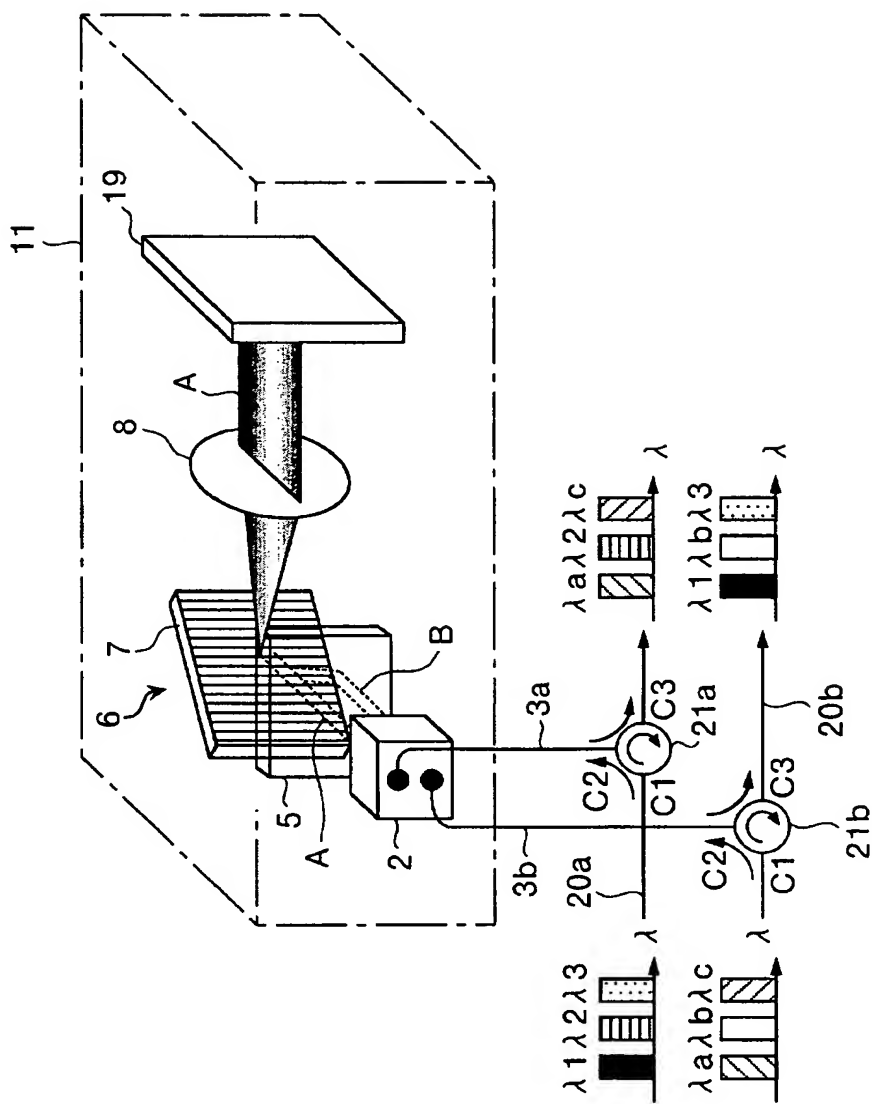
【図 5】

この発明の実施の形態 1 による透過型の波長選択スイッチによる  
波長別の光路切り換え動作を説明する図



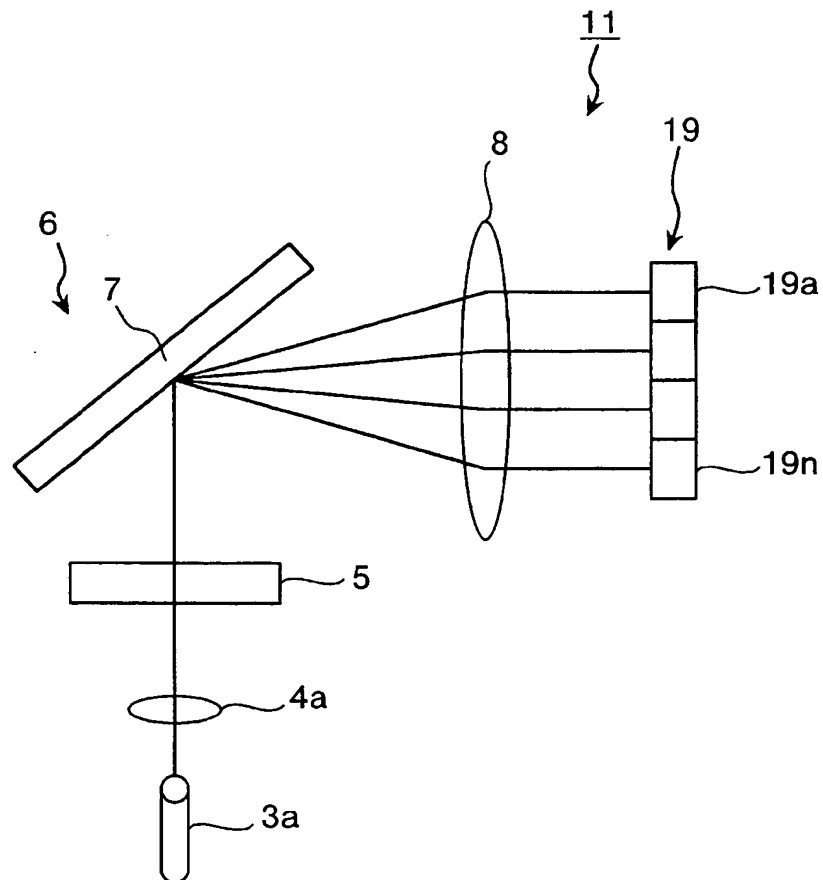
【図 6】

この発明の実施の形態 2 による反射型の波長選択スイッチの構成を示す斜視図



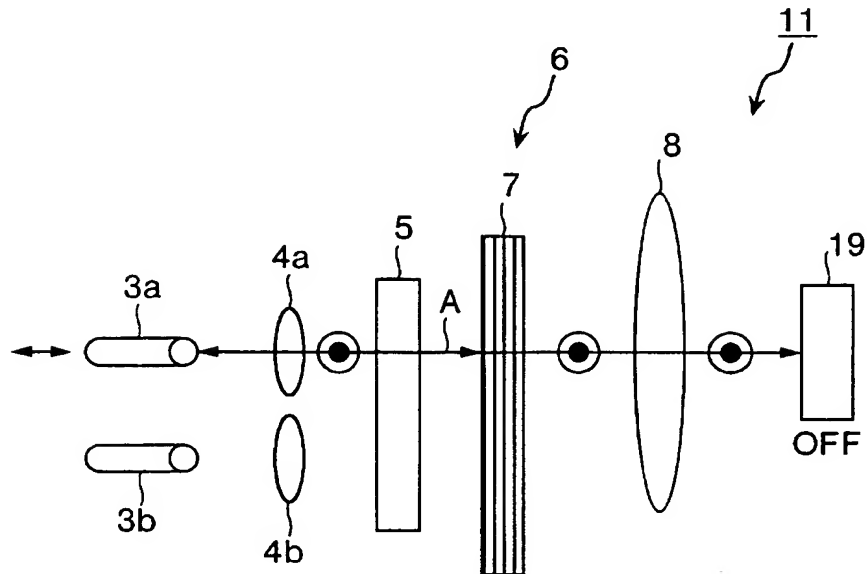
【図 7】

この発明の実施の形態 2 による波長選択スイッチの上面図



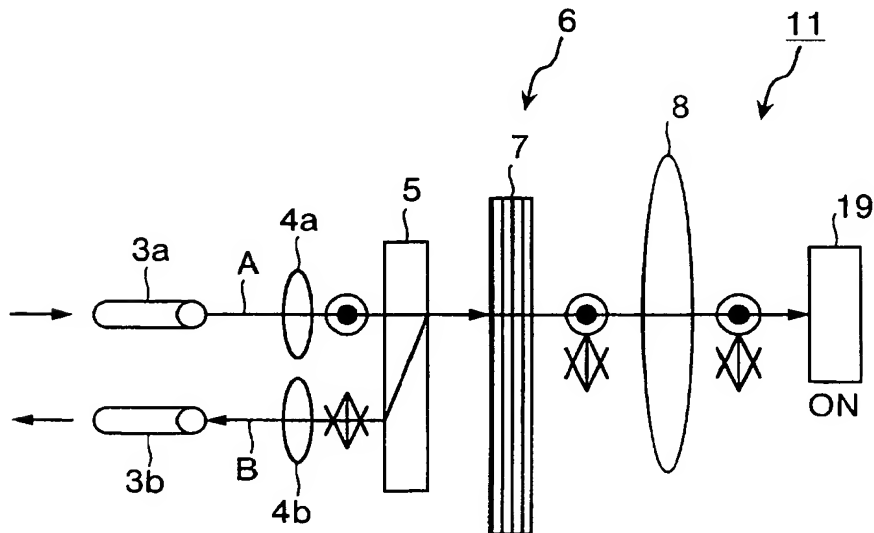
【図 8】

この発明の実施の形態 2 による波長選択スイッチの側面図



【図 9】

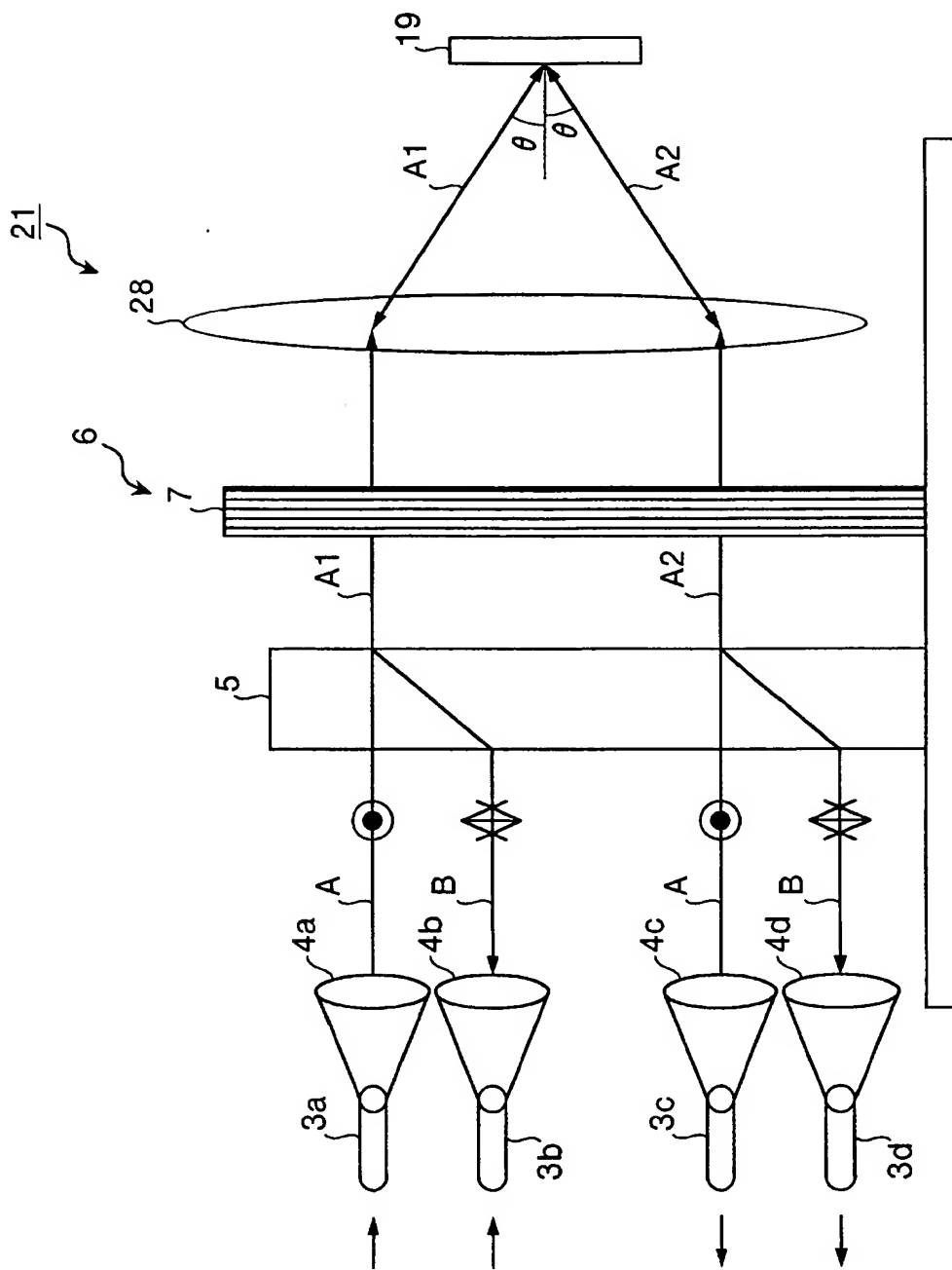
この発明の実施の形態 2 による反射型の波長選択スイッチによる  
波長別の光路切り換え動作を説明する図





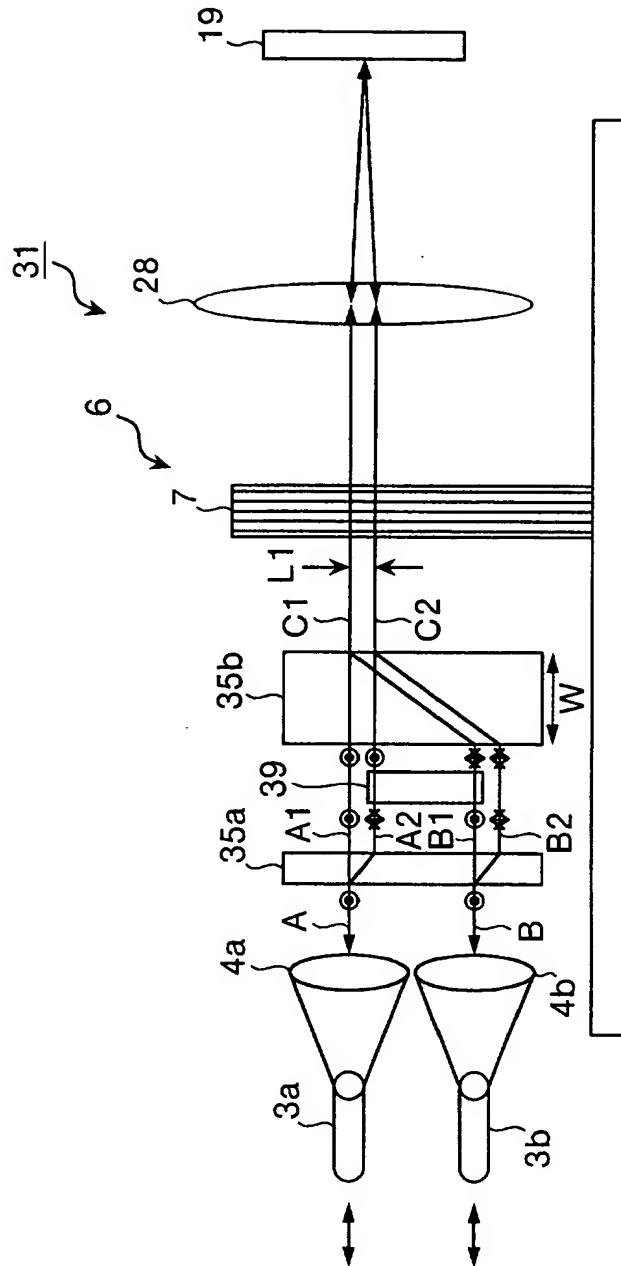
【図 11】

この発明の実施の形態 3 による反射型の他の波長選択スイッチの側面図



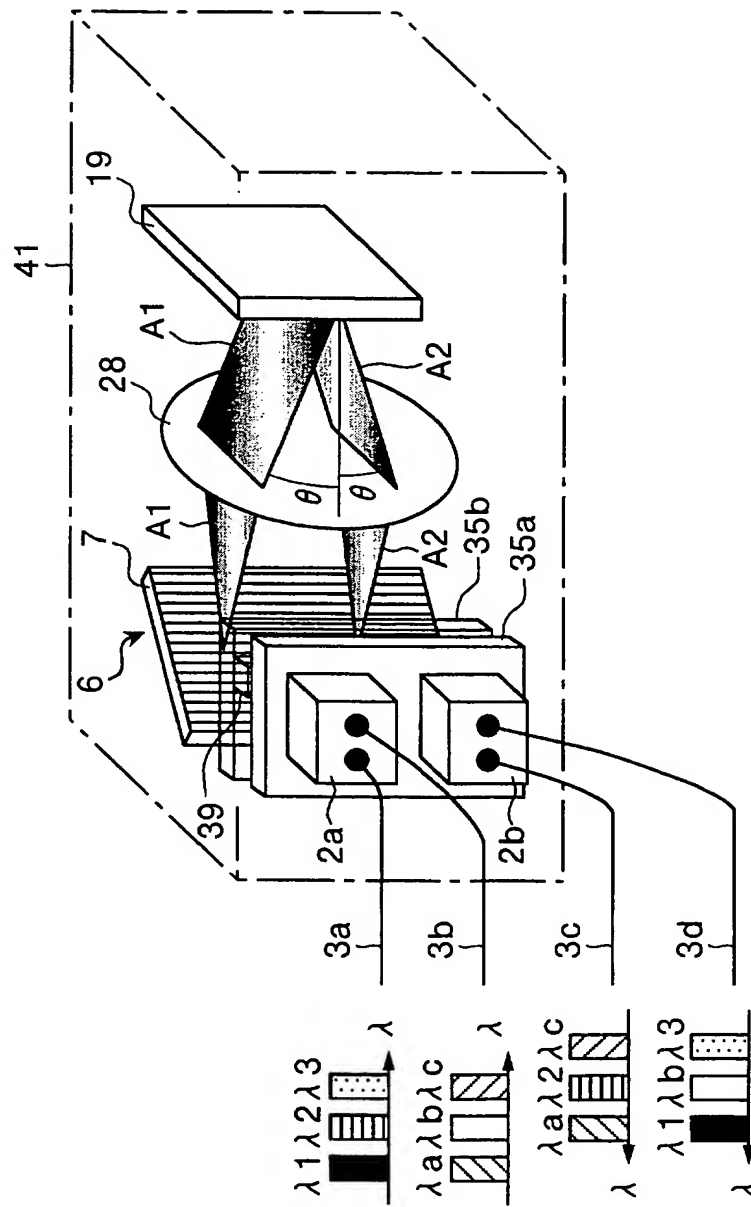
【図 12】

この発明の実施の形態 4 による反射型の他の波長選択スイッチの構成を示す側面図



【図 13】

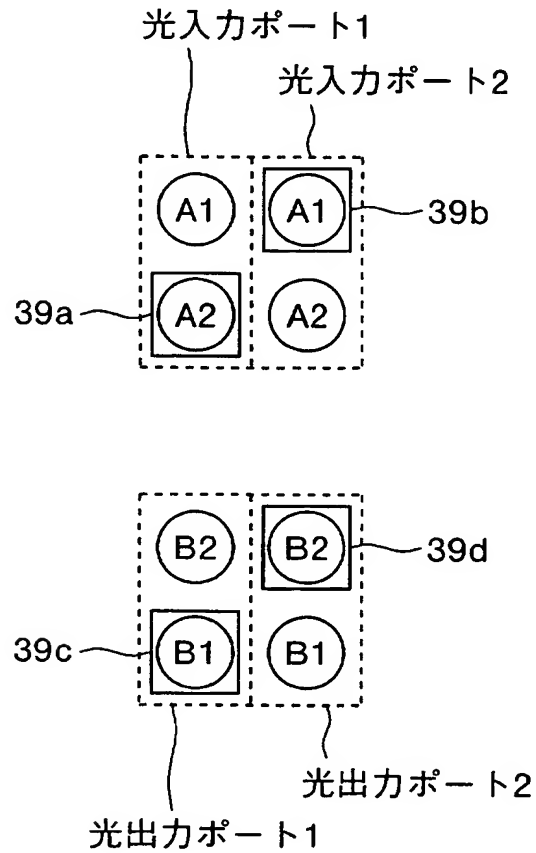
この発明の実施の形態 5 による反射型の他の波長選択スイッチの構成を示す斜視図





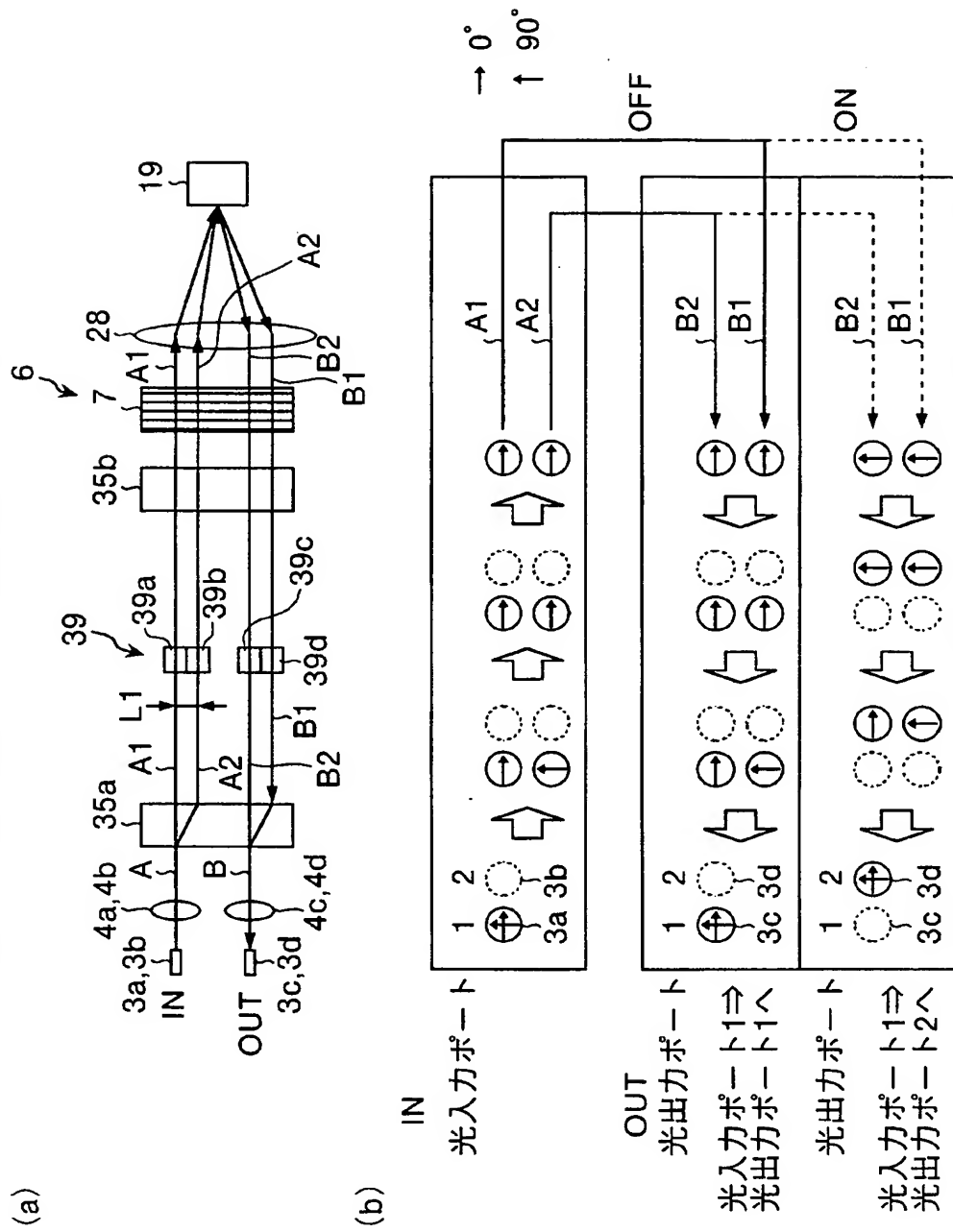
【図 14】

この発明の実施の形態 5 による波長選択スイッチに用いる  
波長板の配置を示す正面図



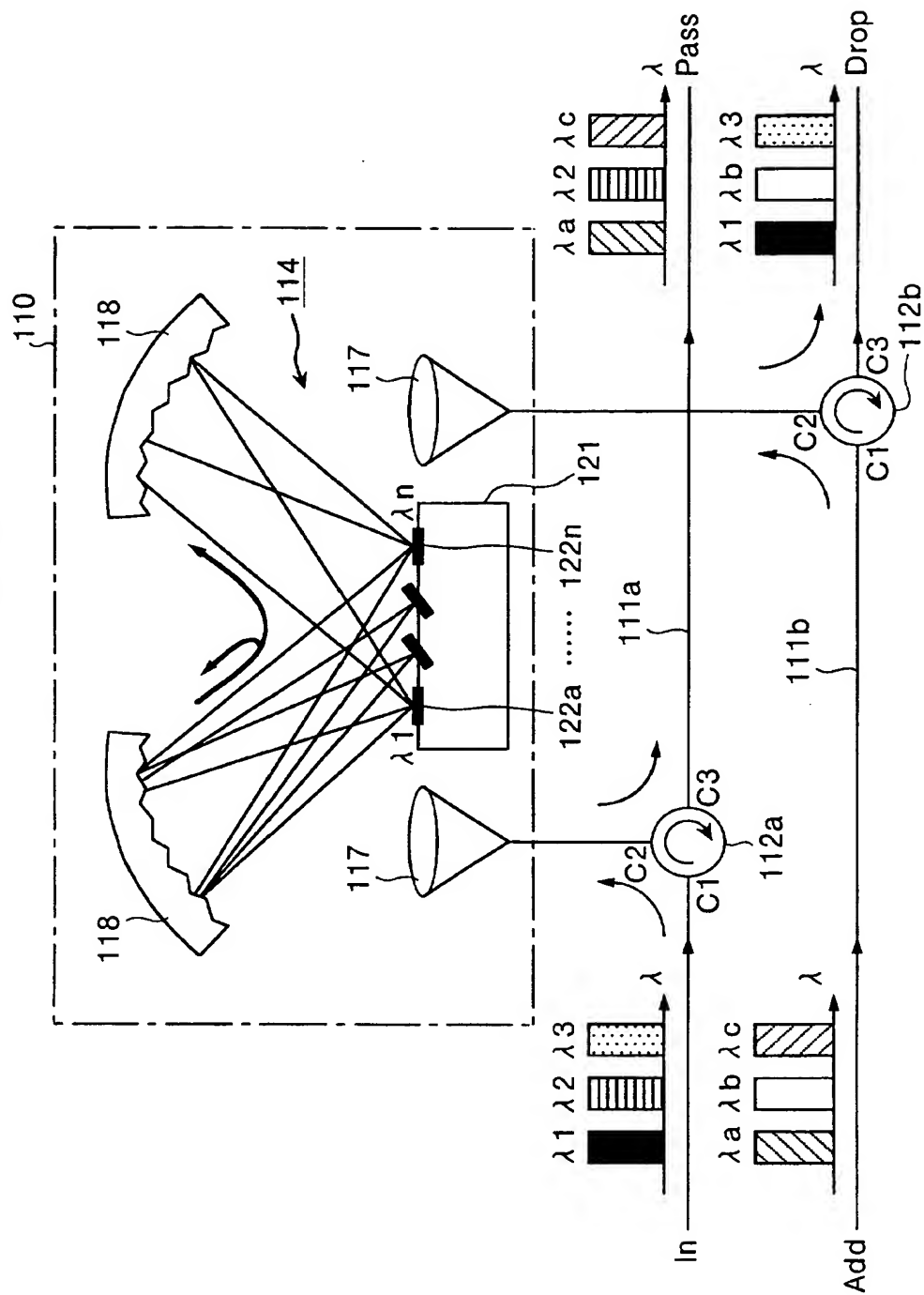
【図 15】

この発明の実施の形態5による波長選択スイッチの説明図



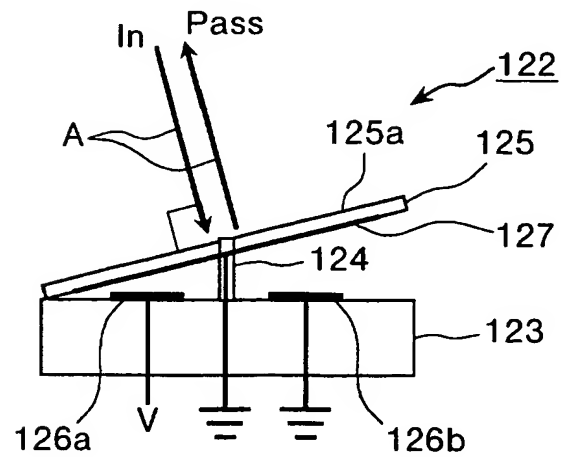
【図 16】

波長選択スイッチの概要構成を示す図



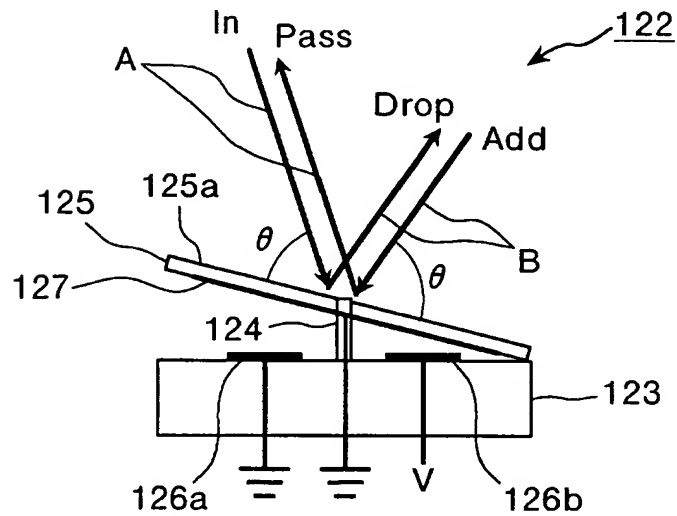
【図 17】

マイクロミラーアレイに設けられる  
マイクロミラーの構成を示す側面図



【図 18】

マイクロミラーの動作状態を示す図



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 簡単な構成で全光クロスコネクタできること。

【解決手段】 光Aに含まれる波長 $\lambda_1$ の光を切り換えるとき、偏光制御素子19の該当する波長のアレイをON制御する。これにより、偏光制御素子19のアレイ19a部分に入射された光Aは、波長 $\lambda_1$ の光Aのみ偏光方向が $90^\circ$ 回転して反射される。この反射された光Aは、複屈折板5を通過する際に、偏光方向が $90^\circ$ 回転された波長 $\lambda_1$ の光のみを光Bの光路に切り換えて光ファイバ3dに入射させる。このとき、光Aに含まれる他の波長 $\lambda_2 \sim \lambda_n$ の光は、光Aの光路上を直進して光ファイバ3aに戻す形で入射される。このように、光Aに含まれる波長毎の光路を切り換えでき、例えば、2入力×2出力の全光クロスコネクタを実現できる。

【選択図】 図9



特願 2003-097402

出 願 人 履 歷 情 報

識別番号

[000005223]

1. 変更年月日

1996年 3月26日

[変更理由]

住所変更

住 所

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号

氏 名

富士通株式会社